

Über das Auftreten von Blutgefäßen in den Oberflächenschichten des Gelenkknorpels bei Rinderfeten

Inaugural Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Aus dem Institut für Tiermedizin und Tierhygiene mit
Tierklinik der Universität Hohenheim

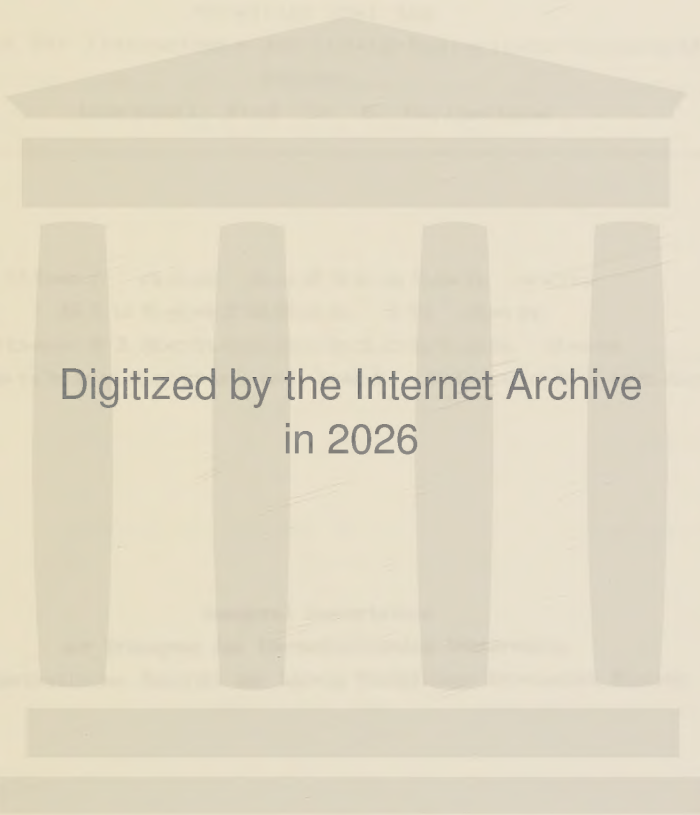
Lehrstuhl für Anatomie und Physiologie der Haustiere
Prof. Dr. K. Loeffler

vorgelegt über das
Institut für Tieranatomie der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl: Prof. Dr. B. Vollmerhaus

von
Martin Holtzmann
aus Bayrischzell

München 1988





Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Tiermedizin und Tierhygiene mit
Tierklinik der Universität Hohenheim

Lehrstuhl für Anatomie und Physiologie der Haustiere
Prof. Dr. K. Loeffler

vorgelegt über das
Institut für Tieranatomie der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Lehrstuhl: Prof. Dr. B. Vollmerhaus

**über das Auftreten von
Blutgefäßen in den
Oberflächenschichten des
Gelenkknorpels bei Rinderfeten**

Inaugural Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Martin Holtzmann
aus
Bayrischzell
München 1988

Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. M. Rüsse

Referent: Prof. Dr. B. Vollmerhaus

Korreferent: Prof. Dr. Dr. D. Stavrou

Tag der Promotion. 29. Juli 1988

1. Einleitung

2. Die Entwicklung der

2.1 Die Entwicklung der

2.2 Die Entwicklung der

2.3 Die Entwicklung der

2.4 Die Entwicklung der

2.5 Die Entwicklung der

2.6 Die Entwicklung der

2.7 Die Entwicklung der

2.8 Die Entwicklung der

2.9 Die Entwicklung der

2.10 Die Entwicklung der

**Meinen Eltern und meinem Ziehvater
gewidmet**

3.1 Die Entwicklung der

3.2 Die Entwicklung der

3.3 Die Entwicklung der

3.4 Die Entwicklung der

3.5 Die Entwicklung der

3.6 Die Entwicklung der

3.7 Die Entwicklung der

3.8 Die Entwicklung der

3.9 Die Entwicklung der

3.10 Die Entwicklung der

3.11 Die Entwicklung der

3.12 Die Entwicklung der

3.13 Die Entwicklung der

3.14 Die Entwicklung der

3.15 Die Entwicklung der

3.16 Die Entwicklung der

3.17 Die Entwicklung der

3.18 Die Entwicklung der

3.19 Die Entwicklung der

3.20 Die Entwicklung der

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATURÜBERSICHT	4
2.1.	Die Embryonalentwicklung des Gelenkknorpels	4
2.2.	Die Entwicklung der Gelenkknorpeloberfläche	5
2.3.	Die Blutgefäßversorgung des Gelenkknorpels	11
2.4.	Die Synovialgruben	14
2.4.1.	Vorkommen der Synovialgruben	14
2.4.2.	Synovialgruben beim Rind	16
2.4.3.	Die Entwicklung der Synovialgruben	17
2.4.4.	Die Funktion der Synovialgruben	20
2.4.5.	Der Aufbau der Synovialmembran	23
3.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	26
3.1.	Material	26
3.2.	Methode	29
3.3.	Ergebnisse	31
3.3.1.	Gelenkfläche der Scapula	31
3.3.2.	Proximale Gelenkfläche des Humerus	31
3.3.3.	Distale Gelenkfläche des Humerus	32
3.3.4.	Proximale Gelenkflächen des Radius	32
3.3.5.	Proximale Gelenkflächen der Ulna	33
3.3.6.	Distale Gelenkfläche des Radius	37
3.3.7.	Gelenkflächen der antebrachialen Karpal- gelenksreihe	37
3.3.8.	Gelenkflächen der metakarpalen Karpalgelenks- reihe	38
3.3.9.	Gelenkflächen des Ossa metacarpalia III - IV	39
3.3.10.	Gelenkflächen des Fesselbeins	39
3.3.11.	Gelenkflächen des Kronbeins	39
3.3.12.	Gelenkflächen des Klauenbeins	41

3.3.13.	Gelenkfläche des Klauensesambeins	44
3.3.14.	Gelenkfläche des Acetabulum	46
3.3.15.	Proximale Gelenkfläche des Os femoris	46
3.3.16.	Distale Gelenkfläche des Os femoris und Gelenkfläche der Patella	47
3.3.17.	Proximale Gelenkflächen der Tibia	47
3.3.18.	Distale Gelenkfläche der Tibia und des Os malleolare (Cochlea tibiae)	49
3.3.19.	Proximale Gelenkfläche des Talus (Trochlea tali)	51
3.3.20.	Distale Gelenkfläche des Talus (Caput tali)	53
3.3.21.	Laterale Gelenkfläche des Talus	54
3.3.22.	Gelenkflächen des Calcaneus	54
3.3.23.	Proximale Gelenkfläche des Os centroquartale	56
3.3.24.	Distale Gelenkfläche des Os centroquartale und Gelenkflächen des Os tarsale II et III	57
3.3.25.	Proximale und distale Gelenkflächen des Os metatarsale III und IV und Gelenkflächen der Phalangen	58
4.	DISKUSSION	59
5.	ZUSAMMENFASSUNG	73
	Summary	75
6.	LITERATURVERZEICHNIS	77

1. EINLEITUNG

Im Zusammenhang mit Untersuchungen über die Embryonalentwicklung an Klauengelenk und Fußrolle beim Rind wurden LOEFFLER und HOMANN (1968, unveröffentlicht) auf eine besondere Oberflächenschicht, die aus der Synovialis hervorging und Blutgefäße enthielt, aufmerksam. Sie sahen darin einen Hinweis für eine in der Fetalzeit vorhandene Auskleidung der Gelenkhöhle mit der Synovialmembran, die am Aufbau und der Ernährung des embryonalen Knorpels beteiligt ist und erst nach der Geburt durch die mechanische Beanspruchung maskiert wird. Diese Frage wurde bereits zu Beginn des Jahrhunderts diskutiert, entschwand dann aber weitgehend aus dem Blickfeld des Interesses.

LOEFFLER (1975) griff diese Hypothese wieder auf, nachdem er in der Umwandung von Synovialisdeckzellen in Gelenkknorpelzellen am Kniescheibengelenk des Kaninches (BIDIER und LOEFFLER, 1984) sowie in der Rückbildung von Gelenkknorpel in Synovialis (LOEFFLER und BIDIER, 1984) im Zuge der Entwicklung von Synovialgruben und -ausschnitten, Hinweise für eine Verwandtschaft der Gelenkoberfläche mit der Synovialis erkannte.

Für die Verwandtschaft der Oberflächenschichten des Gelenkknorpels und der Synovialmembran gaben auch die Vermutungen von KNESE und KNOOP (1961) einen Hinweis, daß

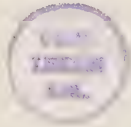
sowohl die Zellen der obersten Gelenkknorpelschicht als auch die oberflächlichen Synovialiszellen Hyaluronsäure bilden. Hyaluronsäure ist ein wesentlicher Bestandteil der Synovia, deren Viskosität sie bestimmt.

Als weiterer Hinweis käme die Herkunft der Synovialisdeckzellen vom Typ A in den Synovialgruben in Betracht, die in ihrer Ultrastruktur Makrophagen gleichen (EDWARDS und WILLOUGHBY 1982) und hämatogenen Ursprungs sein sollen. Da sie bereits in noch nicht vaskularisierten Gruben vorkommen (LOEFFLER u. BIEDIER 1984), ist bislang noch unklar über welchen Weg sie in die Gruben gelangt sind. Bei einer embryonalen Auskleidung der gesamten Gelenkhöhle mit Synovialis könnten sie aus deren Gefäßen ausgewandert sein. Reste dieser Auskleidung auf dem fertig entwickelten Gelenkknorpel könnten auch die Chondralmembran bzw. die Chondrosynovialmembran (WOLF 1969, 1974, 1975; LOEFFLER und BIEDIER, 1984) darstellen.

Die Existenz von im Embryonal- bzw. im Fetalalter auf der Gelenkknorpeloberfläche auftretenden Blutgefäßen könnte einerseits die Herkunft der makrophagenähnlichen Synovialisdeckzellen in den Synovialgruben erklären, andererseits aber auch das Vorhandensein einer synovialen Auskleidung der embryonalen Gelenkhöhle untermauern.

Zur weiteren Überprüfung dieser Hypothese schien es geboten, embryonale bzw. fetale Gelenkknorpeloberflächen auf ein mögliches Vorkommen von Blutgefäßen zu untersuchen. Für diese Untersuchung boten sich die Extremitätengelenke von Rinderfeten an, da für diese Tierart bereits Hinweise auf die Existenz solcher Gefäße vorlagen (LOEFFLER und HOMANN, 1968 unveröffentlicht).

Die Aufgabe dieser Arbeit besteht daher darin, die Gelenke von Rinderfeten verschiedener Altersstufen auf das Vorkommen dieser Gefäße zu untersuchen und diese nach Vorkommen, Ort, Ausdehnung und Entstehungszeitpunkt systematisch zu erfassen.



2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. Die Embryonalentwicklung der Gelenkhöhle

Kurz nachdem sich die Gliedmaßenknospe zeigt, bildet sich eine axiale Mesenchymzusammenballung. Im Bereich der späteren Knochen beginnt die Verknorpelung zunächst als ein Wachstum an Interzellulärsubstanz. Die Zellen des so entstandenen Praeknorpels differenzieren sich zu Chondroblasten und bilden die Knochenanlage. Die Verknorpelung setzt sich fort, bis die charakteristische Knochenform erreicht ist. Die Chondrifikation erstreckt sich nicht auf die Gebiete der späteren Gelenke. Hier bleibt das Mesenchym als sogenannte Interzone erhalten. Die zunächst noch homogene Interzone verdichtet sich an den Rändern und wird dadurch dreischichtig. In der zentral gelegenen Schicht erfolgt die Gelenkspaltbildung (LUBOSCH, 1910; HAINES, 1947; DAVIES, 1950; BROWER u. WAN-YI, 1969; WASSILEV, 1972; PÜSCHMANN, 1978; SOKOLOFF, 1978; HAM u. CORMACK, 1979; KNESE, 1980).

Die Entstehung des Gelenkspaltes wird entweder auf die Synthese und Sekretion einer dünnflüssigen Interzellulärsubstanz (VAUBEL, 1933; ANDERSEN, 1964; PÜSCHMANN, 1978) oder auf Nekrosevorgänge zurückgeführt (HAGEN-TORN, 1882; LUBOSCH, 1910; HAINES, 1947; GARDENER u.

WOODWARD, 1968). Der so entstandene Spalt ist von einem dicht gelagerten blastemalen Gewebe (dem der äußeren Bestandteile der Interzone) umgeben, aus dem sich die Gelenkkapsel, die Gelenkbänder sowie die Gelenkflächen herausdifferenzieren (LUBOSCH, 1910; HAINES, 1947; DAVIES, 1950; WASSILEV, 1972; PÜSCHMANN, 1978; SOKOLOFF, 1978; HAM u. CORMACK, 1979; KNESE, 1980).

2.2. Die Entwicklung der Gelenkknorpeloberfläche

Der Gelenkknorpel ist während der Fetalentwicklung ein Abschnitt der knorpeligen Epiphyse und stellt erst nach Ausbildung der knöchernen Epiphyse eine gesonderte Schicht dar (MASHUGA, 1961; KNESE, 1980). Die entstehenden Gelenkflächen lassen sich von den übrigen Bezirken des Epiphysenknorpels bereits auf Grund ihrer dichteren Stellung und der Form ihrer Knorpelzellen abgrenzen. Sie bestehen aus mehreren Schichten längs-ovaler Zellen. Ganz oberflächlich liegt eine Zellschicht, die an ein flaches, abschilferndes Plattenepithel erinnert und in das Perichondrium übergeht. Dieses Gewebe entstammt den Resten des zentralen Teils der Interzone, in der sich die Gelenkspalte gebildet hatte (PÜSCHMANN, 1978).

KNESE (1980) erklärt die Entstehung der abgeflachten Zellen der Oberflächenschicht durch Dehnung infolge

Volumenzunahme des Knochenkerns beim Wachstum. Diese Zellschicht könnte der in älteren Veröffentlichungen als epitheliale Auskleidung der embryonalen Gelenkhöhle gedeuteten Oberflächenschicht entsprechen (TILLMANN'S, 1877). Andere Autoren aus dieser Zeit vertreten sogar die Ansicht, daß die embryonale Gelenkhöhle zunächst noch von der Synovialhaut vollständig ausgekleidet würde (BICHAT, 1806; TOYNBEE, 1841; HAGEN-TORN, 1882). Erst im Laufe der weiteren Gelenkentwicklung soll die Synovialis an den Stellen des stärksten Drucks schwinden (HAGEN-TORN, 1882). Diese Theorie wurde in der folgenden Zeit nicht weiter verfolgt und ihr auch keine weitere Beachtung mehr geschenkt.

LOEFFLER und HOMANN (1968, unveröffentlicht) sahen, nachdem sich die Gelenkflächen aus dem Mesenchym bzw. dem Vorknorpel herausdifferenziert hatten, die Gelenkoberfläche von einer bis drei Schichten kubischer Zellen bedeckt, die sich von dem daruntergelegenen Knorpel deutlich unterschieden. In dieser Schicht konnten sie histologisch und makroskopisch Blutgefäße nachweisen.

LOEFFLER (1975) bezeichnete diese Zellage in der Folge als Deckschicht, da sie in die Deckschicht der Synovialis überging. Erst die unter ihr gelegenen, ebenfalls flachen und oberflächenparallelen Zellen bilden nach seiner Auffassung die spätere Tangentialzone. Sie

gehen in das Perichondrium über. Diese Befunde deuteten seiner Ansicht nach auf eine Verwandtschaft der Oberflächenschicht des Gelenkknorpels mit der Synovialis hin, vor allem da die vollkommen von Synovialis ausgekleideten Schleimbeutel ein ähnliches Bild zeigen, so daß er die alte Theorie der embryonalen Auskleidung der Gelenkhöhle mit Synovialgewebe wieder aufgriff.

Erst mit zunehmender Belastung nach der Geburt war diese Deckschicht mit ihren Blutgefäßen kaum noch als eigenständige Schicht zu erkennen. Sie ging in der Tangentialzone des Gelenkknorpels weitgehend auf. Durch die weitere Druckbelastung im Laufe der Entwicklung bis zum erwachsenen Individuum erfahren diese Zellen dann eine starke Abflachung und eine Differenzierung zu Knorpelzellen.

LOEFFLER (1975) vertritt die Auffassung, daß diese Deckschicht des Gelenkknorpels zeitlebens als eigenständige Schicht gesondert von der unter ihr gelegenen Tangentialzone erhalten bleibt. Er schreibt ihr eine Schutzfunktion zu. Sie vermag sich zu regenerieren, wobei kleinere, die Gelenkknorpeloberfläche betreffende Defekte repariert werden können. Dies zeigten auch die Untersuchungen von CALANDRUCCIO und GILMER (1962). Da sowohl die Synovialis als auch die Gelenkknorpeloberfläche sich aus dem Mesenchym der embryonalen Interzone

entwickelt haben, besitzen sie eine gewisse Verwandtschaft zueinander. Dies äußert sich in der Fähigkeit zur gegenseitigen Transformation. Aus der Synovialis kann sich nach Transplantationen in Gelenkknorpeldefekte ein Faserknorpel entwickeln (STEIN et al., 1981). Bei Lagomorphen entwickelt sich postnatal proximal der Patella ein Gleitknorpel aus den Zellen der Synovialis. Diese Oberflächenzellen waren zum Zeitpunkt der Geburt allerdings bereits den Fibroblasten ähnlich. Eine Umwandlung von Knorpelgewebe in Synovialgewebe erfolgt hingegen bei der Synovialgrubenentwicklung (LOEFFLER u. BIDIER, 1984).

über die Morphologie und die Benennung der den Gelenkknorpel bedeckenden Oberflächenschicht finden sich in der Literatur keine einheitlichen Aussagen. Insgesamt ergibt sich für die Oberflächenzellen aufgrund der geringen Präsenz und Entwicklung ihrer Organellen das Bild vergleichsweise wenig differenzierter fibrozyten-ähnlicher Zellen (WEISS et al., 1968; WASSILEV, 1971; PUHL, 1972; LOEFFLER u. BIDIER, 1984).

PUHL (1972) ist der Auffassung, daß es sich bei diesen oberflächlichen Zellen noch um pluripotente, fibrozyten-ähnliche Bindegewebszellen handelt, die sich unter entsprechenden Reizen noch in verschiedene Richtungen differenzieren können.

Mit zunehmendem Alter und vermehrter Belastung bildet sich auf der Gelenkknorpeloberfläche ein fast zellfreier Überzug aus Grundsubstanz. Diese Schicht wurde von MC CONAIL (1951) " Lamina splendens " genannt.

Bei der Untersuchung embryonaler Gelenke fanden BALAZS et al. (1966) noch Bereiche ohne diese aufgelagerte zellfreie Zone. Erst nach der Geburt, mit zunehmender Gelenkbelastung, beobachteten sie den Aufbau einer dünnen Schicht feinfilamentären Materials. Bei älteren Rindern war dann eine, hauptsächlich aus homogener Grundsubstanz bestehende, starke zellfreie Zone erkennbar.

Auch andere Autoren (KAJAVA, 1919; DAVIES et al., 1962; BARNETT et al., 1963; OTTE, 1965) erwähnten als oberste Schicht eine der Lamina splendens entsprechende, fast zellfreie, membranartige Schicht. WOLF (1969, 1974, 1975) beschreibt eine azelluläre Schicht aus vernetzten Fibrillen an der Knorpeloberfläche und nannten sie " Chondralmembran ". Da sie in die Synovialmembran übergeht, bezeichnet er sie auch als " Chondrosynovialmembran ".

DAVIES et al. (1962), BARNETT et al. (1963), WILTBERGER u. LUST (1975) sowie LOEFFLER u. BIDIER (1984) beobachteten eine weitere Unterteilung dieser Schicht:

zuerst eine amorphe Schicht mit wenigen feinen Fibrillen, darunter dann eine ebenfalls zellfreie Zone mit dicht gepackten Kollagenfibrillen. über den obersten Fibrillen beobachteten LOEFFLER u. BIDIER (1984) noch eine dünne Zone ohne Fibrillen.

Die Stärke der zellfreien Oberflächenzone unterliegt offensichtlich in Abhängigkeit von der Belastung erheblichen Schwankungen (WEISS et. al., 1968). Die Dicke steigt mit zunehmender statische und funktioneller Belastung (SILBERBERG et al., 1964; BALAZS et al., 1966, PUHL, 1974).

In der darunter gelegenen Tangentialzone sind die Kollagenfaserbündel parallel zur Gelenkoberfläche angeordnet. Die dazwischen gelegenen Zellen sind abgeflacht und langgestreckt. (BENNINGHOFF, 1925; DAVIES et al., 1962; BULLOUGH u. GOODFELLOW, 1968; WEISS et al., 1968; WEISS, 1973; CLARKE, 1974; RÜTTNER et al., 1977).

2.3. Die Blutgefäßversorgung des Gelenkknorpels

Der fertig ausgebildete Gelenkknorpel ist bis auf subchondrale Kapillaren aus der Spongiosa, die die basalen, bereits verkalkten Schichten des Gelenkknorpels versorgen, frei von Blutgefäßen (BENNINGHOFF, 1925; WILSMAN u. VAN SICKLE, 1971; GHADIALLY, 1983). Der Gelenkknorpel wird überwiegend vom Gelenkspalt aus durch die, von der Synovialmembran produzierte, Synovia über Diffusion versorgt. Die Verteilung im Gelenkknorpel wird durch abwechselnden Druck und Entlastung bei der Bewegung gefördert (EKHOLM, 1951; OTTE, 1965 u. 1966; WILSMAN u. VAN SICKLE, 1971; MC KIBBIN, 1973).

Anders sind die Verhältnisse im Knorpel, der sich im Wachstum befindet. In diesem sind noch reichlich Blutgefäße vorhanden. In Gefäßkanälen, auch Knorpelkanäle genannt, durchziehen sie den ganzen Epiphysenknorpel. Die Gefäße dringen in der ersten Periode der uterinen Entwicklung aus dem umgebenden Gewebe in die knorpeligen Anlagen der Epiphysen ein. Mit fortschreitendem Wachstum erweitern und verzweigen sie sich, auch Anastomosenbildungen werden beobachtet. Die Anzahl der Gefäße nimmt beim Wachstum der Epiphyse zu. Durch die Entwicklung des Verknöcherungskerns werden mit dem Knorpel auch seine Gefäße umgebaut, und diese bekommen nach Ende des Längenwachstums Anschluß an das Blutge-

fäßsystem der Diaphyse. Erhalten bleiben lediglich die Abschnitte des Blutgefäßsystems, die bis an die mineralisierte Gelenkknorpelzone reichen. Die oberen Schichten des Knorpels bleiben stets gefäßlos (HAINES, 1933; GRAY u. GARDENER, 1950; MASHUGA, 1961; WILSMAN u. VAN SICKLE, 1971).

Eine weitere Gefäßversorgung, die sich kreisförmig am Rand des Gelenkknorpels erstreckt, beschrieb erstmals HUNTER (1743). Diese Gefäße werden in der Folge noch mehrfach erwähnt und als *Circulus vasculosus articuli Hunteri* bezeichnet (TOYNBEE, 1841; REYHER, 1874; KAJAVA, 1919; KEY, 1932; FISCHER, 1939; RUCKES u. REISSLAND, 1960; BARNETT et al., 1961; HAM u. CORMACK, 1979).

Seine Gefäße bilden am Rand des Gelenkknorpels einen Gefäßkranz aus schlingenförmigen Kapillaren. Sie verlaufen in bzw. direkt unter der Oberflächenschicht; die aus der Synovialis hervorgeht, und reichen bis zur Kontaktfläche der Gelenkknorpel. Nach KEY (1932) entspricht ihre Ausdehnung der Übergangszone zwischen Synovialis und Gelenkknorpel. Während der Fetalentwicklung sollen diese Gefäße noch weiter auf die Gelenkoberfläche hinaufreichen und sich mit zunehmender Belastung auf den Gelenkrand zurückziehen (TOYNBEE 1841, TILLMANN, 1874; HAGEN-TORN 1882; KAJAVA, 1919).

HUNTER (1743) und FISCHER (1939) waren sogar der Meinung, daß der Gelenkknorpel seine Hauptversorgung aus diesen Gefäßen erfährt. RUCKES und REISSLAND (1960), sowie BARNETT et al. (1961) hingegen nahmen an, daß der *Circulus vasculosus articuli Hunteri* der Versorgung der Gelenkknorpelperipherie dient.

In neuerer Zeit wiesen LOEFFLER und HOMANN (1968, unveröffentlicht) Kapillarnetze in der Oberflächenzone von Klauenbein, Kronbein und Klauensesambein bei Rinderfeten nach. Die dort verlaufenden Kapillarnetze sollen für die Ernährung der Oberflächenschicht und des Gelenkknorpels wichtig sein und die anderen Ernährungsquellen ergänzen.

Bei seinen Untersuchungen über das Vorkommen und die Entwicklung von Synovialgruben entdeckte WALLA (1983) auf der distalen Gelenkfläche der Tibia bei einem neugeborenen Kalb ein zottenähnliches Gebilde, das von der Knorpeloberfläche spitzwinklig in die Gelenkhöhle zog, und deutet es als das Rudiment eines fetalen Blutgefäßes zwischen Talus und Tibia. Ein solches Gefäß beobachtete auch LOEFFLER (1987, mündliche Mitteilung) schon bei einem Rinderfetus.

Ein ähnliches, die Karpalgelenkspalte durchquerendes Gefäß beschreibt STREHLER (1978) bei Schlachtschweinen. Nach vorsichtiger Öffnung der Gelenkhöhle war ein Gefäß

zu erkennen, das von einer Synovialgrube des Os carpi intermedium zu den Synovialausschnitten auf der proximalen Gelenkfläche des Os carpale III und des Os carpale IV zog.

2.4. Die Synovialgruben

2.4.1. Vorkommen

Unter Synovialgruben versteht man knorpelfreie Vertiefungen im Gelenkknorpel, die mit Synovialis ausgekleidet sind. Von Synovialausschnitten spricht man im Unterschied dazu, wenn die knorpelfreien Bezirke vom Gelenkrand ausgehen (LOEFFLER et al., 1982).

Ursprünglich als nur bei Ungulaten vorkommend angesehen (BÜRKI, 1905; SCHULZ, 1915), wurden Synovialgruben bzw. Synovialausschnitte später auch beim Menschen (LUY, 1935; MODES, 1939; HAINES, 1976) und beim Hund (LOEFFLER u. BRANSCHIED, 1976; BREHM et al., 1982; FRICK, 1983) beobachtet.

Eingehende Beschreibungen der Synovialgruben liegen bisher für folgenden Tierarten vor:

beim Pferd durch SCHULZ (1915) und STAHLCKER-MAIER (1985),

beim Rind durch BÜRKI (1905) und WALLA (1983),

beim Schaf durch (LUCHMANN, 1938),
bei der Ziege durch LUCHMANN (1938) und BREHM (1987),
bei Gemsen und Steinböcken durch TRUCCHI (1973),
beim Schwein durch DOIGE und HOROWITZ (1975) sowie
STREHLER (1978),
beim Hund durch BREHM et al. (1982) und FRICK (1983).

Nach Ansicht der meisten Autoren stellen die Synovial-
gruben bzw. die Synovialausschnitte normale anatomische
Strukturen auf den Gelenkknorpelflächen dar (MODES,
1939; CHORS u. MESSOW, 1969; TRUCCHI, 1973; DOIGE u.
HOROWITZ, 1975; LOEFFLER u. BRANSCHIED, 1976; STREHLER;
1978; WALLA, 1983; STAHLECKER-MAIER, 1985).

Lediglich BÖSEMANN und VIEHWEGER (1974) sahen die
Synovialgrubenbildung ausschließlich als einen patho-
logischen Prozeß an. Allerdings bezogen verschiedene
Autoren Veränderungen der Synovialgruben in ihre
Beobachtungen über die Arthropathia deformans mit ein.
(SCHMIDT u. ANDREAE, 1973; DÄMMRICH, 1976; DÄMMRICH,
SEIBEL, HUTH u. ANDREAE, 1976; BRENTANO, DÄMMRICH u.
UNSHELM, 1979).

2.4.2. Synovialgruben beim Rind

Die erste umfassende Beschreibung der Synovialgruben beim Rind erfolgte durch BÜRKI (1905). Er untersuchte an 164 Rindern die Extremitätengelenke und die Gelenke an Atlas und Epistropheus. Die Gelenkflächen der Gliedmaßen des Rindes wiesen mit Ausnahme des Schulter- und Hüftgelenks mehr oder weniger deutliche Synovialgruben auf. Er unterschied zwischen Synovialgruben, die während des Wachstums entstanden, und solchen, die sich erst bei ausgewachsenen Tieren bildeten. Während des Wachstums erlangten nur einige wenige Gruben ihre vollständige Ausbildung.

Weitere Untersuchungen folgten von LUY (1935). Sie beschäftigten sich jedoch vorrangig mit der Funktion der Synovialgruben in Verbindung mit der Zusammensetzung der Synovia.

MODES (1939) untersuchte die Synovialgruben von Mensch, Wiederkäuer und Pferd in vergleichender Hinsicht.

HLOUSEK (1972) und PANCANI (1973) beschränkten sich bei ihren Untersuchungen auf das Tarsalgelenk.

Die neueste Arbeit beim Rind stammt von WALLA (1983). Er untersuchte 36 Tiere makroskopisch, davon 31 auch

histologisch. Die Untersuchungen erstreckten sich auf die Gelenke der Vorder- und Hinterextremitäten. Die Entwicklung der Synovialgruben wurde von ihm an der proximalen Gelenkfläche des Metakarpus studiert. Hier fand er schon bei neugeborenen Tieren an der Stelle der späteren Synovialgrube Vertiefungen im Knorpel.

2.4.3. Die Entwicklung der Synovialgruben

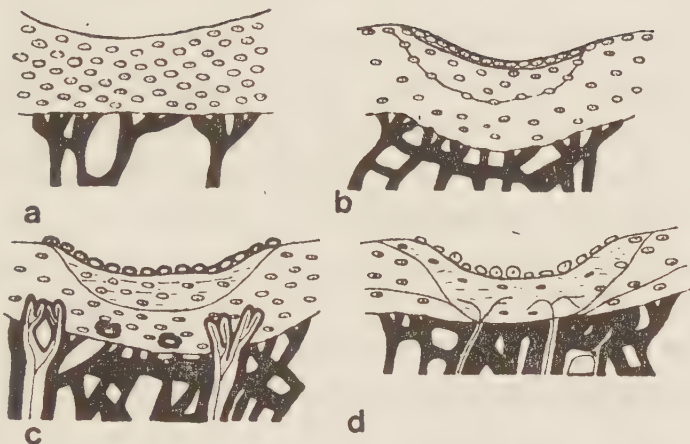
Die Entwicklung der Synovialgruben erfolgt im allgemeinen bei allen untersuchten Tierarten in gleicher Weise. Dabei ist allerdings der Zeitpunkt der Grubenbildung von Tierart zu Tierart und von Lokalisation zu Lokalisation verschieden (LOEFFLER et al., 1982; BRBHM u. LOEFFLER, 1985).

Synovialgruben entstehen dadurch, daß an bestimmten prädestinierten Gelenkbezirken der Säulenknorpel fehlt. Diese Bereiche bleiben im Wachstum zurück, und die Knorpeloberfläche senkt sich ein. Bereits kurz nach der Einsenkung der Oberfläche differenzieren sich die noch fibroblastenähnlichen Zellen der Gelenkknorpeloberfläche um. Sie werden voluminöser und nehmen die kubische Form von Synovialisdeckzellen an (STREHLER, 1978; LOEFFLER et al., 1982). An der Grubenoberfläche treten zwei Typen von Synovialisdeckzellen auf, wie dies auch für die Zellen der Synovialis der Gelenk-

kapsel beschrieben wurde. Neben zahlreichen makrophagen-ähnlichen A-Zellen mit mehreren Vakulolen treten seltener auch fibroblasten-ähnliche B-Zellen mit stark entwickeltem endoplasmatischem Retikulum und zahlreichen Mitochondrien auf (LOEFFLER u. BIDIER, 1984). In der Synovialis überwiegt hingegen nach BRENTANO (1978) der Typ B. Aus der Spongiosa sprossen sekundär Blutgefäße in den Knorpel ein. Durch perivaskuläre Ossifikation und Chondroklastentätigkeit wird die Grube knorpelfrei. Die Spongiosa ist schließlich nur noch von einer dünnen Bindegewebsschicht mit den Synovialisdeckzellen bedeckt (STREHLER, 1978; LOEFFLER et al., 1982). Die Bindegewebsschicht geht fließend in die Tangentialzone des Gelenkknorpels über (LOEFFLER u. BRANSCHIED, 1976). Als Nachweis für eine ortsständige Zellumdifferenzierung konnten BIDIER und LOEFFLER (1984) Übergangszellen am Grubenrand beobachten. Es handelte sich dabei um noch nicht vollständig zu B-Zellen umgewandelte Chondozyten.

In der Regel entwickelten sich die Synovialgruben beim Rind erst nach der Geburt im Laufe des Lebens (BÜRKI, 1905; WALLA, 1983). Jedoch fand bereits BÜRKI (1905) bei einem Fetus im Alter von 32 Wochen auf der proximalen Gelenkfläche des Metakarpus eine kleine Vertiefung an der Stelle, an der später eine Synovialgrube zur Ausbildung gelangte.

Abb. 1:



Schema der Synovialgrubenentwicklung nach STREHLER (1978) sowie BREHM u. LOEFFLER (1985)

- a. Typischer Aufbau des Gelenkknorpels eines jungen Tieres.
- b. Einsenkung der Gelenkoberfläche. Die Oberflächenzellen werden voluminöser.
- c. Einwachsen der Blutgefäße aus der Spongiosa in den Knorpel.
- d. Fertig ausgebildete Synovialgrube.

Bei den von WALLA (1983) untersuchten neugeborenen Kälbern waren im Bereich der proximalen Gelenkfläche der Ulna, der distalen Gelenkfläche der Tibia, der proximalen und distalen Gelenkfläche des Talus und der proximalen Gelenkfläche des Os centroquartale bereits sehr weit in der Entwicklung fortgeschrittene Synovialgruben bzw. Synovialausschnitte als Aussparungen im Gelenkknorpel zu erkennen.

Auch HLOUSEK (1972) erwähnte das Vorhandensein von Synovialgruben im Tarsalgelenk auf Talus und Tibia bei neugeborenen und zwei Wochen alten Kälbern.

2.4.4. Die Funktion der Synovialgruben

Über die Funktion von Synovialgruben und Synovialausschnitten bestehen in der Literatur zum Teil unterschiedliche Ansichten.

BÜRKI (1905) war der Meinung, daß Synovialgruben vorrangig an den Gelenkflächen von Wechselgelenken auftreten, da diese einem besonders starken Belastungsdruck ausgesetzt sind. Für die Funktion der Synovialgruben als ein Synoviaresevoir fand er keine Anhaltspunkte.

Im Gegensatz dazu sah SCHULZ (1915) das Auftreten von Synovialgruben an Lokalisationen, die keiner Belastung ausgesetzt waren.

PALMGREN (1928) glaubte, daß die von ihm als Gruben bezeichneten Ausschnitte am Ellbogengelenk als Kommunikationskanäle zwischen den einzelnen Gelenkhöhlenabteilungen von Bedeutung sind und somit eine schnellere Verteilung der Synovia und eine bessere Abfederung in dieser erfolgen kann.

LUY (1935) deutete das Vorhandensein von Synovialgruben als "eine Art Selbsthilfe des Organismus" bei erhöhter Belastung. Die Synovialgruben entstanden seiner Meinung nach durch Abbau des Gelenkknorpels. Der Knorpelabbau dient dazu, die Eiweiße zu produzieren, die bei wachsender Druckbelastung die Viskosität der Synovia erhöhen.

MICHELETTO und PANCANI (1973), PANCANI (1973) und TRUCCHI (1973) rechneten den Synovialgruben eine Schutzfunktion, insbesondere bei Gelenkerkrankungen, zu. Die Synovialgruben tragen, als eine Vergrößerung der Synovialmembran auf die Gelenkfläche, zur Kontrolle des biophysikalischen und biomechanischen Gleichgewichts der Synovia bei, da sie Austausch-

vorgänge durch ihre vaskularisierte bindegewebige Struktur begünstigen können.

BOSEMANN und VIEHWEGER (1974) sahen die Synovialgrubenbildung ausschließlich als pathologischen Prozeß an. Als auslösende Faktoren nannten sie vor allem das Körpergewicht und die Haltungsform.

MODES (1939), DÄMMRICH et al. (1975) und NICKEL et al. (1984) sahen die Funktion der Synovialgruben als Sammelbecken für die Synovia an. Bei starker Kompression soll die angesammelte Synovia austreten und sich über die Gelenkfläche verteilen.

STREHLER (1978) und WALLA (1983) schlossen sich dieser Sammelbeckentheorie nicht an. Sie kamen zu dem Ergebnis, daß Synovialgruben normale anatomische Erscheinungen sind. Eine weitere Aussage über eventuelle Funktionen machten sie jedoch nicht.

LOEFFLER und BRANSCHIED (1976) sowie LOEFFLER et al. (1982) sahen die hauptsächliche Funktion der Gruben und Ausschnitte darin, die Diffusionsstrecke für die von der Synovialis gebildete Synovia zu den zentralen Gelenkknorpelbezirken, vor allem in Zeiten der Gelenkruhe, zu verkürzen, um auch dann deren Versorgung zu sichern.

Die Untersuchungen von MEHLFELD et al. (1984) zeigten, daß sich die Synovialgruben an Orten hoher Zugspannung, jedoch geringer Druckbelastungen ausbildeten. Daraus folgerten sie, daß die Synovialgruben zur bestmöglichen Versorgung des Gelenkknorpels mit Nährstoffen beitragen.

2.5. Der Aufbau der Synovialmembran

Die Synovialmembran (Stratum synoviale) bildet die Innenauskleidung der Gelenkkapsel. Sie liegt der Faserschicht (Stratum fibrosum) der Gelenkkapsel innen an. Sie besteht aus lockerem Bindegewebe und ist reich an Blut- und Lymphgefäßen (NICKEL et al., 1984). Durch ihren Reichtum an elastischen Fasern kann sie sich den Gelenkrändern und Gelenkflächen anschmiegen, ohne Gefahr zu laufen, eingeklemmt zu werden. Zur Oberflächenvergrößerung ist sie gefältelt und bildet an den Gelenkrändern Zotten (DAVIES, 1950; BARNETT et al., 1961). Diese entwickeln sich unabhängig von der Gelenkbewegung und bestehen schon beim Fetus (KEY, 1932).

Die Synovialmembran besteht aus 2 Schichten:

einer Oberflächenschicht aus ein bis vier Lagen kubischer bis polygonaler Zellen, die Synovialisdeckzellen oder "lining-cells" genannt werden, und

einer darunter gelegenen Bindegewebsschicht mit eingelagerten Fettzellen (KEY, 1932; LANGER u. HUTH, 1960; BARNETT et al., 1961; HAMERMAN u. BARLAND 1966; HAMERMAN, 1970; WRIGHT et al., 1973; LINK u. PORTE, 1978; HORKY, 1984; STOFFT u. EFFENDY, 1985).

Elektronenmikroskopisch können unter den Synovialisdeckzellen zwei Typen unterschieden werden (BARLAND et al., 1961 und 1962; HIROHATA et al. 1963; HIROHATA u. KOBAYASHI, 1964; HAMERMAN u. BARLAND, 1966; ROY u. GHADIALLY, 1967; WYSOCKI u. BRINKHOUSE, 1972; HORKY, 1984; STOFFT and EFFENDY, 1985):

Typ A-Zellen, auch als M-Zellen bezeichnet, da Makrophagen ähnlich, mit phagozytotischer Aktivität, die wahrscheinlich haematogen eingewanderten und transformierten Monozyten entstammen (DREHER 1982 a und b; EDWARDS u. WILLOUGHBY, 1982; HABERBOSCH et al., 1983), und

Typ B-Zellen, auch F-Zellen genannt, da Fibroblasten ähnlich, mit einem stark ausgeprägten endoplasmatischen Retikulum und zahlreichen Mitochondrien. Sie besitzen vorwiegend sekretorische Funktion und sollen den Fibroblasten nahestehen.

BIERTHER (1972), HIROHATA (1974), LANGER (1978) und MAHDI (1979) beschrieben darüber hinaus noch einen intermediären Zelltyp.

BRENTANO (1977) und LINCK und PORTE (1978) zweifelten an dieser Einteilung. Nach ihrer Ansicht handelte es sich um unterschiedliche Funktionszustände einer einheitlichen Zellart.

Nach LINCK und PORTE (1978) erfolgt die Differenzierung in die verschiedenen Zelltypen erst nach der Geburt. Im Gegensatz dazu sehen HORKY (1984), sowie STOFFT und EFFENDY (1985), bereits während der fortgeschrittenen Fetalentwicklung ausdifferenzierte A- und B-Zellen. Im Aufbau unterschied sich die fetale Synovialmembran nur wenig von der der adulten Tiere. Bei den adulten Tieren können die B-Zellen zu Nestern angeordnet sein, während bei den Feten diese Nesterbildung noch fehlt (HORKY, 1984).

Durch die Synovialis erfolgt sowohl die Sekretion und Absorption der Synovialflüssigkeit, als auch die Resorption von Fremdstoffen und Stoffwechselprodukten. Sie ist somit wesentlich am Stoffwechsel und der Funktionsfähigkeit des Gelenkknorpels beteiligt (BARNETT et al., 1961; CHORS u. MESSOW, 1969).

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1. MATERIAL

Die Untersuchung erfolgte an 47 Rinderfeten, einem totgeborenen, einem vierzehn Tage und einem vier Wochen alten Kalb. Davon waren 26 Tiere männlich und 24 weiblich.

Sämtliche Feten stammten vom Schlachthof Stuttgart. Darunter waren auch die Extremitäten von 14 Feten, die mir von der Firma Vit Organ überlassen wurden. Diesen Tieren waren zum Zwecke der Herstellung von Frischzellextrakten schlachtfrisch die Organe entnommen worden. Das totgeborene und die zwei und vier Wochen alten Kälber stammten aus der Versuchsstation I der Universität Hohenheim. Beide Kälber waren wegen schwerer Erkrankungen euthanasiert worden.

Die Rassen setzten sich aus Fleckvieh und Schwarzbunten Rindern zusammen, da diese Rinderrassen im Sammelzeitraum von Januar bis Mai 1987 das Schlachtaufkommen stellten. Eine Einteilung der untersuchten Tiere in Rassen war nicht möglich, da bei den Feten nur die geburtsreifen Tiere anhand der Behaarung sicher einer Rasse zugeordnet werden konnten.

Eine Einteilung in Altersgruppen erfolgte durch Messung der Scheitel-Steiß-Länge (SSL). Unter SSL versteht man die Länge der Verbindungslinie zwischen Okzipitalgelenk

und erstem Schwanzwirbel bei gestrecktem Rücken. Anhand der SSL ist eine Schätzung des Alters der Feten möglich. Nach BAIER und SCHAETZ (1983) kann sie wie folgt vorgenommen werden:

1. Monat	bis 1 cm SSL
2. Monat	6-7 cm SSL
3. Monat	14-17 cm SSL
4. Monat	24 cm SSL
5. Monat	35 cm SSL
6. Monat	50-60 cm SSL
7. Monat	70 cm SSL
8. Monat	65-75 cm SSL
9. Monat	80-90 cm SSL

Geburtsreif mit Beginn des 10. Monats mit SSL
80-100 cm

Mit Hilfe der KELLERschen Formel

$$x (x + 2) = \text{SSL in cm,}$$

wobei x die Zahl der Monate ist, kann das Alter für jede SSL berechnet werden (BAIER und SCHAETZ, 1983).

Der kleinste untersuchte Fetus besaß eine Scheitel-Steiß-Länge von 20 cm, der größte von 93 cm.

Eine Übersicht über die Tiergruppen und die Anzahl der in ihnen zusammengefaßten Tiere gibt die Tabelle 1.

Tab. 1: Übersicht über die Anzahl der in der jeweiligen Tiergruppe untersuchten Tiere

Tiergruppe	Anzahl der untersuchten Tiere		
	Gesamtzahl je Tiergruppe	Alle Extremitäten formalinfixiert	Extremitäten der linken Seite mit Paraplast durchtränkt
20-30 cm SSL	7	4	3
30-40 cm SSL	8	4	4
40-50 cm SSL	11	7	4
50-60 cm SSL	7	5	2
60-70 cm SSL	4	2	2
70-80 cm SSL	3	3	-
> 80 cm SSL	7	7	-
Kälber	3	3	-
Gesamt:	50	35	15

3.2.. METHODE

Der makroskopischen Untersuchung wurden die Gelenkoberflächen aller Extremitätengelenke unterzogen. Die Darstellung der Gefäße erfolgte durch Injektion von Ausziehtusche (Scriptol A, Firma Pelikan). Die Tusche wurde über Laborfilterpapier filtriert und anschließend mit physiologischer Kochsalzlösung auf 1:3 verdünnt.

Die Injektion erfolgte bei den Tieren bis 60 cm SSL in die Nabelgefäße, bei den Tieren über 60 cm SSL und den Tieren mit bereits vom Rumpf abgetrennten Extremitäten in die A./V. axillaris bzw. die A./V. femoralis. Die Tuscheinjektion erfolgte bis zur vollständigen Schwarzfärbung der Tiere bzw. der abgetrennten Extremitäten (Abb. 1). Vor der weiteren Präparation wurden die Tiere bzw. die Extremitäten zur Fixation mindestens 48 Stunden in 4%iges Formalin eingelegt. Um ein rasches Eindringen der Formalinlösung zu erleichtern, wurde bei den Tieren ab 60 cm SSL zuvor die Haut von den Extremitäten abpräpariert.

Bei 35 Tieren wurden die Gelenke der so vorbereiteten Gliedmaßen durch vorsichtiges Freipräparieren und Öffnen im Gelenkspalt untersucht. Bei weiteren 15 sehr jungen Tieren (s. Tab. 1) wurden zusätzlich die Extremitäten der linken Seite mittels einer aufsteigenden Alkohol-

reihe entwässert und über aufsteigende Methylbenzoat- und Benzolreihen mit Paraplast durchtränkt. Dieses wurde durchgeführt, um vor allem bei den kleineren Feten sicher zu gehen, daß die Gefäße auf der Knorpeloberfläche nicht nach der Öffnung des Gelenkspalts durch Adhäsionskräfte oder durch die sich im Gelenkspalt befindende Flüssigkeit in ihrer Lage verändert oder zerstört wurden.

Die freipräparierten Gelenkoberflächen wurden, bei den kleinen Feten auch mit Hilfe einer Stereolupe, auf das Auftreten von Blutgefäßen untersucht und die Ergebnisse in vorbereitete Skizzen eingezeichnet.

Abb. 2:



Mit Tusche injizierter Rinderfetus von 36 cm SSL

3.3. ERGEBNISSE

V o r d e r g l i e d m a ß e

3.3.1. Gelenkfläche der Scapula

Der Gelenkknorpel der Cavitas glenoidalis war bis auf einen feinen Gefäßkranz, der von der Synovialis am Rand der Gelenkkapsel ausging, frei von Blutgefäßen. Die Synovialis des lateralen Gelenkkapselteils entließ regelmäßig eine größere Synovialzotte, die sich nach Öffnung des Gelenkspaltes der Gelenkknorpeloberfläche der Cavitas glenoidalis anlegte.

3.3.2. Proximale Gelenkfläche des Humerus

Ausgehend vom Ansatz der Gelenkkapsel am Collum humeri, überzog bei allen Tieren, außer bei den beiden zwei und dem vier Wochen alten Kälbern, ein feines Gefäßnetz die Knorpeloberfläche von Collum und Caput humeri bis an den Rand der Gelenkfläche. Auf der Gelenkfläche bedeckt es noch den Randbereich, der nicht mit der Gelenkfläche der Cavitas glenoidale direkt artikulierte (Abb. 3). Auch die Knorpeloberflächen zwischen Tuberculum majus, Tuberculum minus, sowie der Sulcus intertuberularis waren von feinen Gefäßen überzogen.

3.3.3. Distale Gelenkfläche des Humerus

Ausgehend von der Synovialis der Gelenkkapsel zogen bei allen Tieren, außer bei den älteren Kälbern, feine Gefäßausläufer ein Stück auf die Gelenkfläche vor. Dieser Gefäßsaum war im kaudalen Bereich deutlicher ausgeprägt, vor allem auf den Führungskämmen der Condylen wölbte er sich keilförmig weiter auf die Gelenkfläche vor. Gelegentlich befanden sich hier bei den größeren Tieren (>60 cm SSL) auch noch kleine Gefäße, die, sich in ein kleines Kapillarnetz aufzweigend, noch ein Stück weiter auf die Gelenkfläche hinausliefen.

In der sagittalen Führungsrinne zwischen Condylus medialis und Condylus lateralis verlief bei den Feten regelmäßig von kaudal noch ein Gefäß ein kleines Stück weit auf die Gelenkfläche der Führungsrinne vor, auf der es sich in ein bäumchenförmiges Kapillarnetz aufzweigte.

3.3.4. Proximale Gelenkflächen des Radius

Die Knorpeloberfläche des Radiuskopfes war bis auf die Randbereiche frei von Blutgefäßen. Auch am Rand der bei den Feten noch bindegewebigen Articulatio radioulnaris proximalis befand sich ein Saum aus feinen kapillaren Gefäßen. Diese Gefäße entsprangen aus dem Bindegewebe

zwischen Radius und Ulna. Im lateralen Bereich dieser Verbindungsstelle erweiterte sich der Gefäßsaum halb-kreisförmig. An dieser Stelle entwickelte sich im Laufe des weiteren Wachstums ein kleiner Synovialausschnitt (Abb. 3).

Beginnend bei den geburtsreifen Feten (>80 cm SSL) und dem neugeborenen Kalb und deutlicher bei den beiden älteren Kälbern, zeigten sich im Zentrum der proximalen Gelenkfläche und beiderseits des sagittalen Firstes, welcher die Gelenkfläche in der Mitte teilt, bereits Knorpelverdünnungen, ersichtlich an dem an dieser Stelle deutlicher durchscheinenden Knochengewebe, sowie eine leichte Rauigkeit der Knorpeloberfläche.

3.3.5. Proximale Gelenkflächen der Ulna

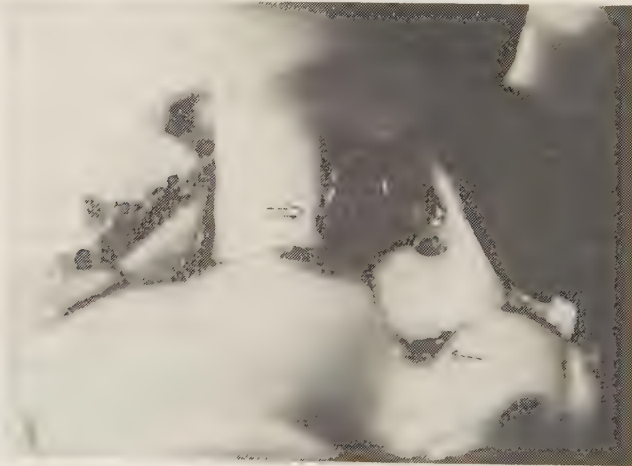
Den lateralen Bereich der Gelenkoberfläche der Incisura trochlearis überzog bereits bei den kleinsten untersuchten Feten (20 cm SSL) ein unregelmäßig drei- bis viereckiges Gefäßnetz. Die Gefäße entsprangen am lateralen Rand der Gelenkfläche und aus der Mitte des noch bindegewebigen Gelenkspaltes zwischen Radius und Ulna. Mit zunehmender Größe der Feten blieb der Gelenkknorpel unter diesem Gefäßnetz deutlich im Wachstum

Abb. 3:



Humeruskopf mit den schlingenförmig am Rand der Gelenkfläche verlaufenden Gefäßen des Circulus vasculosus articuli (Fetus 71 cm SSL).

Abb. 4:



Proximale Gelenkflächen von Radius und Ulna mit den bereits weitgehend entwickelten Synovialausschnitten auf der Incisura trochlearis (†) und am Rand der Verbindung zwischen Radius und Ulna (↑) (Fetus 84 cm SSL).

zurück. Die sich dadurch im Vergleich zum umgebenden Knorpel fortschreitend entwickelnde Knorpelverdünnung führte zu einer Einsenkung des Gelenkknorpels. Bei den geburtsreifen Feten war der Knorpel dann größtenteils geschwunden. Die so entstandene Vertiefung hatte sich mit einem gefäßreichen Gewebe gefüllt, so daß sich bereits das typische Bild eines weitgehend entwickelten Synovialausschnittes zeigte (Abb. 4).

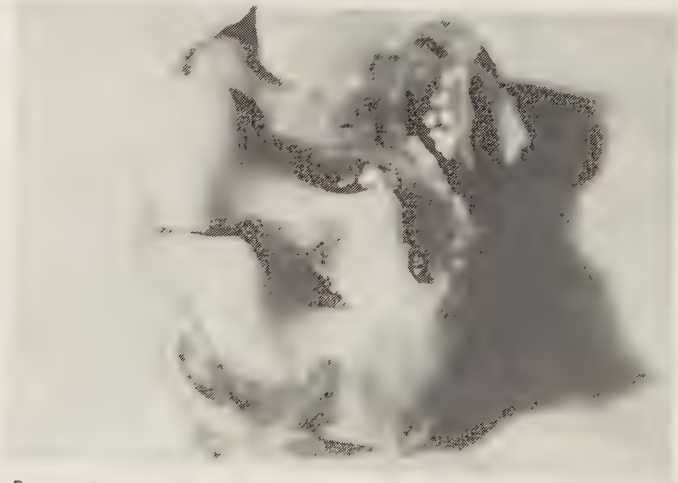
Aus der bindegewebigen Verbindung zwischen Radius und Ulna zogen feine Gefäße, wie ein schmales Band den Gelenkspalt begleitend, auf die angrenzenden Gelenkknorpelbereiche der Ulna (Abb. 4). Im lateralen Bereich entwickelte sich bei einigen Tieren ein kleiner Synovialausschnitt. Dieser korrespondierte mit dem bereits beschriebenen kleinen Synovialausschnitt auf der Gelenkfläche des Radiuskopfes.

Abb. 5:



Trochlea radii mit Gefäßnetz (Fetus 71 cm SSL).

Abb. 6:



Proximalansicht der antebrachialen Karpalgelenksreihe. Aus dem interkarpalen Gelenkspalt treten Blutgefäße deutlich auf die Gelenkfläche des Os carpi intermedium über. (Fetus 82 cm SSL)

3.3.6. Distale Gelenkfläche des Radius

Kaudal auf der Gelenkfläche der mittleren Gelenk-
abteilung war bei allen untersuchten Tieren regelmäßig
ein größeres Gefäß zu beobachten. Es entsprang am
palmaren Gelenkrand aus dem Gelenkkapselgewebe und
verlief, sich zunächst noch wenig verzweigend, über den
anfangs vertikal verlaufenden Abschnitt der Gelenk-
fläche, um sich in dem anschließenden horizontalen Teil
der Gelenkfläche in ein Kapillarnetz aufzuzweigen

(Abb. 5). Mit fortschreitender Entwicklung der Feten
senkte sich der Gelenkknorpel an dieser Stelle zu-
nehmend ein. Bereits bei den geburtsreifen Feten war
die Trochlea radii in diesem Bereich nur noch von einer
dünnen Knorpellamelle bedeckt. Bei dem Neugeborenen und
den beiden älteren Kälbern war dieser Bereich dann
gänzlich knorpelfrei. Die Knochenoberfläche wurde von
einem feinen, gefäßreichen Gewebe überzogen, das aus
dem fetalen Gefäßnetz und aus den aus der Spongiosa
aussprossenden Gefäßen hervorging.

3.3.7. Gelenkflächen der antebrachialen Karpalgelenks- reihe

Feine kapilläre Gefäßausläufer säumten bei allen unter-
suchten Tieren, außer bei den beiden älteren Kälbern,

die proximalen und distalen Gelenkflächen sowie die Ränder der Gelenkflächen der Interkarpalgelenke. Weiter auf die Gelenkfläche hinaus traten die Gefäße bei den feten und dem neugeborenen Kalb nur proximal auf dem Os carpi intermedium (Abb. 6). Bei neun Feten (25 cm, 36 cm, 41 cm, 43 cm, 50 cm, 83 cm, 84 cm, 88 cm und 91 cm SSL) verzweigte sich ein kleines Gefäß palmar auf der distalen Gelenkfläche des Os carpi intermedium. Bei zwei weiteren Tieren (43 und 50 cm SSL) konnte noch ein weiteres kleines Gefäß palmar auf der distalen Gelenkfläche des Os carpi ulnare beobachtet werden.

3.3.8. Gelenkflächen der metakarpalen Karpalgelenksreihe

Feine kapilläre Gefäßausläufer säumten die proximalen, distalen und interkarpalen Ränder der Gelenkflächen. Bei zwei Tieren (50 cm SSL und 68 cm SSL) zog noch ein kleines Gefäß palmar auf die distale Gelenkfläche des Os carpi secundum et tertium.

3.3.9. Gelenkflächen des Ossa metakarpalia III - IV

Feine Kapillaren bildeten einen Gefäßkranz sowohl um die proximalen als auch um die distalen Gelenkflächen.

3.3.10. Gelenkflächen des Fesselbeins

Feine Kapillaren umsäumten die proximalen und distalen Gelenkflächen. Auf der distalen Gelenkfläche erstreckten sie sich palmar noch keilförmig ein Stück weiter in die sagittalen Führungsrinnen.

3.3.11. Gelenkflächen des Kronbeins

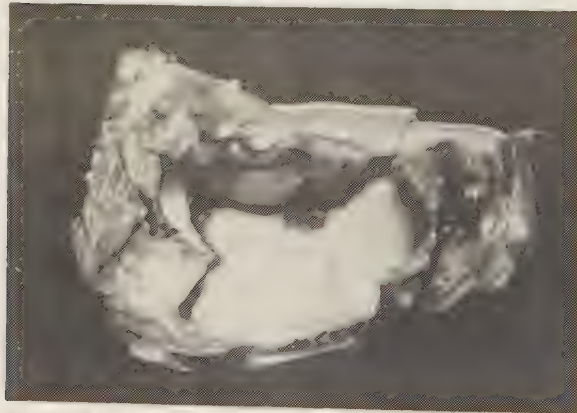
Feine Kapillaren bildeten einen Gefäßkranz um die proximalen und distalen Gelenkflächen. Zusätzlich verlief noch bei zwei Feten von 89 cm und 90 cm SSL von palmar ein kräftiges Gefäß in der Führungsrinne in Richtung Mitte der Gelenkfläche (Abb. 7). Entlang den seitlichen Kämmen der Gelenkfläche verliefen bogenförmig einige kleine Gefäße, die nur bei den großen Feten (> 60 cm SSL) deutlich erkennbar waren.

Abb. 7:



Blutgefäß in der Führungsrinne der distalen Gelenkfläche des Kronbeins (Fetus 64 cm SSL).

Abb. 8:



Blutgefäße auf Klauenbein und Klauensesambein (Fetus 91 cm SSL). Das Gefäßnetz der abaxialen Seite ist deutlich erkennbar, auf der axialen Seite ist das Gefäßnetz schwächer entwickelt und von einer Synovialzotte überdeckt. Zusätzlich ist noch eine Gefäßverbindung über die Sesambeingelenkfläche zu erkennen.

3.3.12. Gelenkfläche des Klauenbeins

Auf der Gelenkfläche des Klauenbeins waren bei allen Altersgruppen deutliche Gefäßnetze anzutreffen:

A. Bei allen untersuchten Tieren verlief ein größeres Gefäß bogenförmig entlang der Kante, die sich zwischen der Gelenkfläche des Klauenbeins zum Kronbein und der Gelenkfläche des Klauenbeins zum Klauensesambein befindet, vom axialen zum abaxialen Gelenkrand (Abb. 8).

Von diesem Transversalgefäß konnten ausgehen:

1. Gefäße auf die Gelenkfläche des Klauenbeins mit dem Kronbein (Facies articularis),
2. Gefäße auf die Gelenkfläche des Klauenbeins mit dem Klauensesambein (Facies articularis sesamoidea),
3. Gefäße auf die Gelenkfläche des Klauensesambeins mit dem Kronbein (s. auch 3.3.13.),
4. Gefäße zur distalen Gelenkfläche des Kronbeins.

1. Gefäße auf der Gelenkfläche des Klauenbeins mit dem Kronbein:

Die Gefäße bildeten ein annähernd dreieckiges Netz, dessen Spitze zur Mitte der Gelenkfläche des Klauenbeins zeigte. Dieses Gefäßnetz trat bei den Feten aller

Altersgruppen regelmäßig auf. Bei dem neugeborenen Kalb war es ebenfalls noch zu beobachten, nicht mehr jedoch bei den beiden älteren Kälbern. Die Ausdehnung variierte an den Klauen der einzelnen Tiere nur wenig. Innerhalb aller untersuchten Tiere waren die Größenschwankungen jedoch ganz erheblich. Meist befand sich die Spitze noch im Bereich des hinteren Drittels der Gelenkfläche, gelegentlich reichte sie auch bis ins mittlere Drittel hinein (50 cm SSL, 68 cm SSL), in einem Fall (89 cm SSL) verlief das Gefäßnetz bandförmig über die ganze Länge der Gelenkfläche bis zur Klauensesambeins am dorsalen Gelenkrand.

2. Gefäße zur Gelenkfläche des Klauenbeins mit dem Klauensesambein:

Die Facies articularis sesamoidea des Klauenbeins war bei den Tieren bis 30 cm SSL fast vollständig von Gefäßen bedeckt, da aus dem Transversalgefäß und aus der Synovialis der Gelenkränder von allen Seiten Kapillaren auf die noch sehr kleine Gelenkfläche übertraten. Mit zunehmendem Wachstum der Gelenkfläche konnten diese Randgefäße die Gelenkfläche immer weniger bedecken, so daß bei den größeren Feten nur noch ein schmaler Gefäßsaum, ausgehend von dem Transversalgefäß und den Gelenkrändern, zu finden war.

3. Gefäße zur Gelenkfläche des Klauensesambeins mit dem Kronbein:

Die von dem Transversalgefäß auf die Facies articularis des Klauensesambeins ziehenden Kapillaren bildeten am distalen Rand der Gelenkfläche bei allen Tieren lediglich einen schmalen Gefäßsaum (s. auch 3.3.13.).

4. Gefäße zur distalen Gelenkfläche des Kronbeins:

Bei zwei Tieren, einem Fetus von 30 cm SSL und 50 cm SSL, verlief ein größeres Gefäß durch den Klauengelenkspalt auf die Gelenkfläche des Kronbeins, auf der es ein annähernd kreisförmiges Kapillarnetz ausbildete. Bei dem größeren Tier (50 cm SSL) befand sich dieses Gefäß lediglich in den Klauengelenken der Vorderextremitäten, bei dem kleineren Tier (30 cm SSL) auch in den Klauengelenken der Hinterextremitäten.

B. In der Mitte des interdigitalen und des abaxialen Gelenkrandes befanden sich bei den meisten Feten, und auch noch bei dem neugeborenen Kalb, zwei weitere, vom axialen und abaxialen Gelenkrand ausgehende Kapillargebiete (Abb. 8, Tab. 2 und 4). Bei den zwei und vier Wochen alten Kälbern waren sie nicht mehr anzutreffen. Die Gefäße variierten sowohl in der Regelmäßigkeit ihres Auftretens als auch in der Größe ihrer Ausdehnung

stark. Die Häufigkeit ihres Auftretens schwankte von Tier zu Tier erheblich, kaum jedoch von Klaue zu Klaue bei den einzelnen Tieren. Diese Variabilität trat in allen untersuchten Altersgruppen, und damit unabhängig vom Alter auf (Tab. 2 und 4). Die Gefäße konnten fehlen, sich nur wenige Millimeter von Gelenkrand entfernen oder in allen Abstufungen bis fast zur Mitte der Gelenkfläche reichen. Häufig war nur eines der beiden Netze deutlich ausgeprägt. Insgesamt war aber das axial gelegene Netz etwas häufiger vertreten und auch etwas kräftiger ausgebildet (Tab. 2). An dieser Stelle auftretende Synovialzotten überdeckten häufig die Gefäßnetze (Abb. 8).

3.3.13. Gelenkfläche des Klauensesambeins zum Kronbein

Am proximalen und distalen Rand traten Kapillaren auf die Gelenkfläche über. Die proximal übertretenden Kapillaren bildeten einen breiten, im mittleren Teil einen keilförmig nach distal ausgezogenen, Gefäßsaum. Bei einem Tier von 91 cm SSL (Abb. 8) bestand von der Spitze dieses Gefäßkeiles eine Gefäßverbindung zu dem am vorderen Rand des Gelenkspaltes zwischen Klauenbein und Klauensesambein entlangziehenden Transversalgefäß. Die von dem Transversalgefäß ausgehenden Kapillaren bildeten am distalen Gelenkrand ebenfalls einen schmalen Gefäßsaum.

Tab. 2: Übersicht über die Verteilung der in der Mitte zwischen interdigitalem und äußerem Gelenkrand auf der Gelenkfläche des Klauenbeins auftretenden Gefäßnetze

Alter der Tiere	Klauengelenkflächen der Vorderextremitäten				Klauengelenkflächen der Hinterextremitäten			
	rechte Seite		linke Seite		rechte Seite		linke Seite	
	abaxial	axial	abaxial	axial	abaxial	axial	abaxial	axial
20-30 cm N = 7	+ 1 +/- 1 - 5	+ 2 +/- 3 - 2	+ 1 +/- 1 - 5	+ 2 +/- 3 - 2	+ 1 +/- 1 - 5	+ 2 +/- 3 - 2	+ 1 +/- 1 - 5	+ 2 +/- 3 - 2
30-40 cm N = 8	+ 4 +/- 4 - 0	+ 3 +/- 5 - 0	+ 4 +/- 4 - 0	+ 3 +/- 5 - 0	+ 4 +/- 4 - 0	+ 3 +/- 5 - 0	+ 4 +/- 4 - 0	+ 3 +/- 5 - 0
40-50 cm N = 11	+ 2 +/- 8 - 1	+ 5 +/- 5 - 1	+ 2 +/- 8 - 1	+ 5 +/- 5 - 1	+ 2 +/- 8 - 1	+ 5 +/- 5 - 1	+ 2 +/- 8 - 1	+ 5 +/- 5 - 1
50-60 cm N = 7	+ 4 +/- 3 - 0	+ 4 +/- 3 - 0	+ 4 +/- 3 - 0	+ 4 +/- 3 - 0	+ 4 +/- 3 - 0	+ 3 +/- 4 - 0	+ 4 +/- 3 - 0	+ 4 +/- 3 - 0
60-70 cm N = 4	+ 1 +/- 3 - 0	+ 3 +/- 1 - 0	+ 1 +/- 3 - 0	+ 3 +/- 1 - 0	+ 1 +/- 3 - 0	+ 3 +/- 1 - 0	+ 1 +/- 3 - 0	+ 3 +/- 1 - 0
70-80 cm N = 3	+ 1 +/- 2 - 0	+ 1 +/- 1 - 0	+ 1 +/- 2 - 0	+ 1 +/- 1 - 0	+ 1 +/- 2 - 0	+ 1 +/- 1 - 0	+ 1 +/- 2 - 0	+ 1 +/- 1 - 0
80-90 cm N = 7	+ 3 +/- 3 - 1	+ 3 +/- 4 - 0	+ 3 +/- 3 - 1	+ 3 +/- 4 - 0	+ 3 +/- 3 - 1	+ 3 +/- 4 - 0	+ 3 +/- 3 - 1	+ 3 +/- 4 - 0
Kälber N = 3	+ 0 +/- 1 - 2	+ 1 +/- 0 - 2	+ 0 +/- 1 -	+ 1 +/- 0 - 2	+ 0 +/- 1 - 2	+ 1 +/- 0 - 2	+ 0 +/- 1 - 2	+ 1 +/- 0 - 2
Gesamt: absolut N = 50	+ 16 +/- 25 - 9	+ 22 +/- 22 - 6	+ 16 +/- 25 - 9	+ 22 +/- 22 - 6	+ 16 +/- 25 - 9	+ 21 +/- 23 - 6	+ 16 +/- 25 - 9	+ 22 +/- 22 - 6
Gesamt: prozent	+ 32% +/- 50% - 18%	+ 44% +/- 44% - 12%	+ 32% +/- 50% - 18%	+ 44% +/- 44% - 12%	+ 32% +/- 50% - 18%	+ 42% +/- 46% - 12%	+ 32% +/- 50% - 18%	+ 44% +/- 44% - 12%

+ = deutliches Gefäßnetz

+/- = schwach ausgebildetes Gefäßnetz

- = kein Gefäßnetz

H i n t e r g l i e d m a ß e

3.3.14. Gelenkfläche des Acetabulum

Die Gelenkflächen der Hüftgelenkspfannen konnten bei den größeren Feten (>60 cm SSL) und den Kälbern nur ohne Tuscheinjektion untersucht werden, da bei diesen Tieren die Hintergliedmaßen im Hüftgelenk abgetrennt wurden. Nicht in die Untersuchung einbezogen werden konnten die Hüftgelenkspfannen der 14 Tiere von der Firma Vit Organ, da bei diesen Tieren nur die vom Tierkörper abgelösten Extremitäten zur Untersuchung vorlagen.

Die Knorpeloberfläche der Gelenkflächen der Acetabula waren bei den kleinen Feten stets von einem feinen Gefäßkranz, ausgehend von der Synovialmembran am Ansatz der Gelenkkapsel am Acetabulumrand, umsäumt. Dieser Gefäßsaum war bei den nicht injizierten Gelenkflächen der größeren Tiere kaum zu erkennen. Größere, auch ohne Injektion erkennbare Gefäße konnten aber auch bei diesen Tieren nicht beobachtet werden.

3.3.15. Proximale Gelenkfläche des Os femoris

Ausgehend vom Ansatz der Gelenkkapsel am Collum humeri überzog bei allen Tieren ein Netz haarfeiner Gefäße die

noch in der Hüftgelenkshöhle gelegenen Teile des Os femoris bis auf die Anteile der Gelenkfläche des Femurkopfes, die direkt mit der Gelenkfläche des Acetabulum im Kontakt standen. Die Ansatzstelle des Lig. capitis femoris in der Fovea capitis umgaben ebenfalls feine Gefäße, die sowohl die Oberfläche der Fovea capitis auskleideten als auch noch ein kurzes Stück auf die umgebende Gelenkfläche ausstrahlten.

3.3.16. Distale Gelenkfläche des Os femoris und Gelenkfläche der Patella

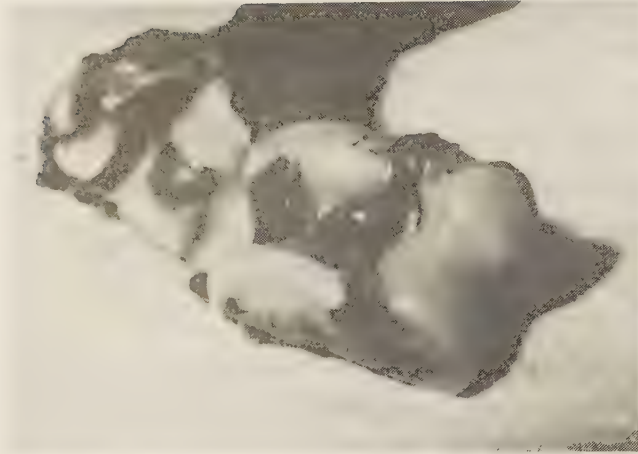
Vom Ansatz der Synovialkapsel aus verliefen feine Gefäßausläufer eine kurze Strecke auf die Randbezirke der Gelenkflächen.

Nebenbefund: Der Knorpel der Menisken war bis zur Geburt und teilweise auch noch danach von feinen Gefäßen durchzogen. Nach der Geburt zogen sich diese Gefäße auf den Randbereich zurück.

3.3.17. Proximale Gelenkfläche der Tibia

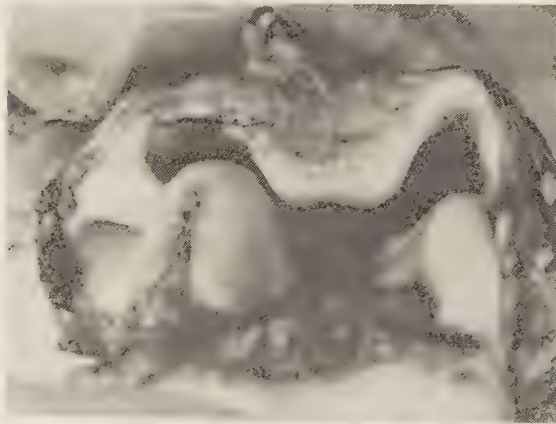
Vom Ansatz der Gelenkkapsel aus verliefen feine Gefäßausläufer aus der Synovialis noch eine kurze Strecke auf die Randabschnitte der Gelenkflächen.

Abb. 9:



Geöffnetes Talokruralgelenk (Fetus 44 cm SSL). Auf der Trochlea tali und Cochlea tibiae sind deutlich ausgeprägte Gefäßnetze zu erkennen.

Abb. 10:



Dorsalansicht eines leicht geöffneten Talokruralgelenks (Fetus 93 cm SSL). Das noch intakte Blutgefäß zwischen den Gefäßnetzen auf der Trochlea tali und der Cochlea tibiae ist zu erkennen. Auf dem lateralen Kamm der Trochlea tali zieht ein Blutgefäß nach proximal und dringt in den Knorpel ein.

3.3.18. Distale Gelenkfläche der Tibia und des Os malleolare (Cochlea tibiae)

Bei 27 der 50 untersuchten Tiere war auf der Cochlea tibiae ein kräftiges Gefäßnetz ausgebildet, das aus dem zuführenden Gefäß des großen Gefäßnetzes auf der Trochlea tali entstammte (Abb. 9). Nur in einem Fall (Fetus 89 cm SSL) entsprang das zuführende Hauptgefäß aus den Gefäßen der Gelenkkapsel am dorsalen Rand der Gelenkfläche.

In der Regel durchquerte es als isolierter Gefäßstrang den Gelenkspalt (Abb. 10) und traf im Bereich des Sagittalkammes auf die Gelenkfläche der Cochlea tibiae. Dort verzweigte es sich gabelförmig nach lateral und medial in zwei größere Äste, die durch weitere Aufzweigungen im Bereich des Sagittalkammes und der Führungsrinnen ein schmetterlingförmiges, umfangreiches Kapillarnetz ausbildeten.

Dieses Gefäßnetz trat nicht bei allen Tieren auf:

Bei den Feten unterhalb 30 cm SSL war es nur in einem Fall eindeutig nachweisbar (Fetus 29 cm SSL). Gelegentlich befanden sich bei den Tieren dieser Größe kleine dunkelgefärbte Gewebsetsen in der Gelenkflüssigkeit.

In den Tiergruppen ab 30 cm SSL befanden sich Tiere mit und ohne Gefäßnetz auf der Cochlea vertreten (Tab. 3). Bei fünf Tieren war nur auf der Cochlea tibiae einer Hinterextremität das Gefäßnetz ausgebildet. Nur linksseitig kam es bei zwei Tieren (39 cm SSL und 90 cm SSL), nur rechtsseitig bei drei Tieren (68 cm SSL, 71 cm SSL und 83 cm SSL) vor .

Tab. 3: Übersicht über die Verteilung der Gefäßnetze auf der Cochlea tibiae				
Tier- gruppen	Gesamt- tierzahl je Gruppe	Anzahl der Tiere mit Gefäßnetzen auf der Cochlea tibiae	Seitenverteilung der Gefäßnetze auf der Cochlea tibiae	
			rechte Seite	linke Seite
20-30 cm SSL	7	1	1	1
30-40 cm SSL	8	6	5	6
40-50 cm SSL	11	7	7	7
50-60 cm SSL	7	4	4	4
60-70 cm SSL	4	2	1	2
70-80 cm SSL	3	2	2	1
> 80 cm SSL	7	4	3	3
Kälber	3	1	1	1
Gesamt:	50	27	24	25

Der Gelenkknorpel in diesem Bereich war bei allen Feten bis zu 70 cm SSL vollkommen glatt. Erst ab 70 cm SSL zeigten sich erste leichte Rauigkeiten der Knorpeloberfläche, und ab dem Geburtszeitraum (Feten >80 cm SSL) sowie bei dem neugeborenen Kalb war eine beginnende Einsenkung des Knorpels erkennbar. Aus dem unter dem Knorpel gelegenen Knochengewebe waren erste aussprossende Gefäße erkennbar. Es zeigte sich das typische Bild einer in der Entstehung begriffenen Synovialgrube. Der Entwicklungsgrad dieser Synovialgrube zeigte keine Unterschiede zwischen den Gelenkflächen, die an dieser Stelle mit einem Gefäßnetz bedeckt waren, und denen ohne Gefäßnetz. Die Entwicklung dieser Synovialgrube verlief offensichtlich unabhängig vom Auftreten dieses Gefäßnetzes. Besonders deutlich zeigte sich das bei den Tieren, die auf der Gelenkoberfläche der Cochlea tibiae nur einer Hinterextremität dieses Gefäßnetz ausgebildet hatten, aber an beiden Seiten den gleichen Entwicklungsgrad der Synovialgrubenentwicklung zeigten.

3.3.19. Proximale Gelenkfläche des Talus

(Trochlea tali)

Die Gelenkfurche zwischen den beiden Rollkämmen der Trochlea tali war bei allen untersuchten Tieren Fundort

eines kräftigen Gefäßnetzes. Als ein kräftiges Gefäß nahm es dorso-distal am Ansatz der Gelenkkapsel im Bereich des Collum tali seinen Anfang, durchquerte die am dorso-distalen Ende der Trochlea tali gelegene größere Grube, an deren Oberfläche es einige Seitenäste abgab, und lief, sich weiter verzweigend, über die Gelenkfläche zwischen den Rollkämmen nach proximal. Durch die in diesem Bereich zahlreich abgegebenen kleinen Seitenäste entwickelte sich aus diesem Gefäß ein breitflächiges Gefäßnetz. Das Gefäßnetz beschränkte sich in seiner Ausdehnung nicht nur auf den Bereich der Rollfurche, meist erstreckte sich sein Ausläufer auch seitlich an den Rollkämen empor, so daß es eine eher querovale Form einnahm.

Bei 23 Tieren endete das Gefäß an dieser Stelle. Bei 26 Tieren zog es quer durch den Gelenkspalt weiter nach proximal zur Cochlea tibiae und verzweigte sich erst dort endgültig in der oben bereits beschriebenen Weise.

Der Gelenkknorpel unter dem Gefäßnetz war bis zur der Größe von 70 cm SSL glatt, senkte sich dann in der Folge zunehmend ein, so daß bei den bereits voll behaarten, geburtsreifen Feten (>80 cm SSL) aus dem Knochengewebe zur Oberfläche aussprossende Gefäße durch den Gelenkknorpel hindurch erkennbar waren. Bei dem neugeborenen Kalb war der Knochen in diesem Bereich nur noch von einer dünnen Knorpelschicht überzogen. Ein

bereits vollständig entwickelter Synovialausschnitt war dann bei den zwei bzw. vier Wochen alten Tieren festzustellen. Er verlief, sich keilförmig verjüngend, zwischen den Rollkämmen nach proximal. Bei dem neugeborenen Kalb war er noch von dem intakten Gefäßnetz bedeckt. Bei den zwei und vier Wochen alten Kälbern war nur noch das große zuführende Gefäß deutlich von dem Gewebe am Grund des Synovialausschnittes abgrenzbar. Das Gefäßnetz schien vollständig in das Gewebe des Synovialausschnittes integriert worden zu sein.

Auf dem lateralen Kamm der Trochlea tali zog von distal ein größeres Gefäß bis zu einem Drittel nach proximal und senkte sich dort in den Knorpel zur Versorgung tiefer gelegener Gewebsschichten ein (Abb. 10). In seiner Umgebung war ein feines Kapillarnetz ausgebildet.

3.3.20. Distale Gelenkfläche des Talus (Caput tali)

Von dem bandartig verstärkten Ansatz der Gelenkkapsel am Collum tali ausgehend, breitete sich bei allen untersuchten Tieren ein Gefäßnetz nach distal auf die Gelenkfläche aus (Abb. 11). In diesem Bereich war bei den großen Feten bereits eine deutliche Knorpelabsenkung erkennbar. Bei dem neugeborenen Kalb und den

beiden älteren Kälbern war die Entwicklung eines Synovialausschnittes bereits weitgehend abgeschlossen.

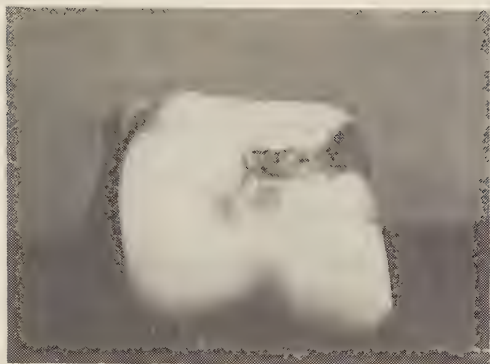
3.3.21. Laterale Gelenkfläche des Talus

Um den Ansatz des Lig. talocalcaneum laterale , das Talus und Calcaneus fest miteinander verbindet, befand sich ein feiner Gefäßsaum.

3.3.22. Gelenkflächen des Calcaneus

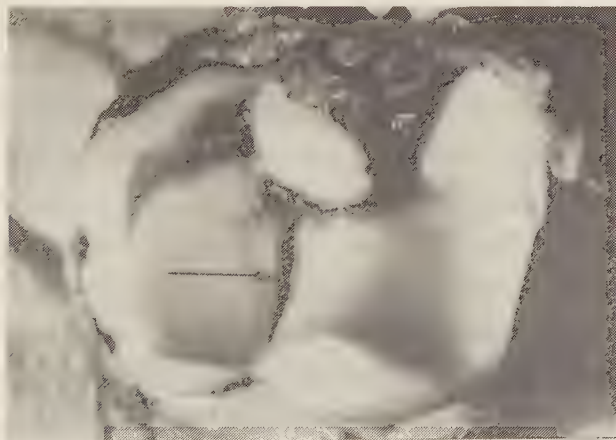
Die Oberflächen der Gelenkfläche des Calcaneus zum Talus und der Gelenkfläche zum Os centroquartale bedeckten keine Gefäßnetze. Nur die Randbezirke wurden von feinen Gefäßschlingen umsäumt. Der große Knorpelbereich zwischen diesen Gelenkflächen war während der ganzen Fetalzeit von Blutgefäßen überzogen. Gegen Ende der Fetalperiode nahm die Gefäßdichte erheblich ab. Nach der Geburt waren diese Gefäße kaum noch erkennbar.

Abb. 11:



Caput tali mit Gefäßnetz plantar auf der Gelenkfläche.

Abb. 12:



Proximalansicht des Os centroquartale (Fetus 90 cm SSL) mit den Blutgefäßnetzen und einer schmalen Synovialgrube am medialen Rand der mittleren Gelenkabschnitt (↑).

3.23. Proximale Gelenkfläche des Os centroquartale

Im Bereich der während der Embryonalentwicklung noch bindegewebigen Verwachungsstelle zwischen Os tarsi centrale und Os tarsi quartale zeigten sich regelmäßig kleine, flache, von Blutgefäßen und Bindegewebe ausgefüllte Aussparungen im Gelenkknorpel. Bei den größeren Feten waren sie bereits mit einem dichten, gefäßreichen Gewebe ausgefüllt und deutlich als Synovialgruben zu erkennen (Abb. 12). Ihre Gefäße stammten nicht aus der Synovialis der Gelenkkapsel, wie dies bei den bisher beschriebenen Gefäßen der Fall war, sondern sie entsprangen aus dem Bindegewebe der Syndesmose.

Bereits bei den kleinsten untersuchten Feten von 20 cm SSL traten in diesem Bereich ein bis zwei kleine Gefäße an die Gelenkoberfläche. In der Folgezeit wurden diese Gefäße deutlicher erkennbar, da sich in ihrer Umgebung Knorpelinsenkungen bildeten, die von diesen Blutgefäßen und begleitendem Bindegewebe ausgefüllt wurden.

In die mediale Gelenkabteilung schob sich vom plantaren Gelenkrand aus ein weiteres Gefäßnetz vor. Auch unter diesen Gefäßen entwickelte sich später ein Synovialausschnitt.

Verbindung untereinander erhielten die Gefäßnetze über kleine, gefäßführende Rinnen im Gelenkknorpel. Die Verbindung zwischen den aus der Syndesmose ausgesprossenen Gefäßen bildete eine Knorpelrinne entlang der lateralen Seite des Medialkammes, der die mit dem Talus artikulierende Gelenkflächenabteilung unterteilte. Plantar teilte sich diese Rinne nach medial und lateral. Der nach medial verlaufende Teil durchquerte einen Einschnitt in dem medialen Gelenkkamm und stellte die Verbindung zu den vom plantaren Gelenkrand ausgehenden Gefäßen her. Über den nach lateral ziehenden Abschnitt erhielten die Gefäße auch Anschluß an die Gefäßnetze, die entlang der Kante der Gelenkflächenabteilung, die mit dem Calcaneus artikuliert, zogen.

3.3.24. Distale Gelenkfläche des Os centroquartale und Gelenkflächen des Os tarsale II et III

Feine kapilläre Gefäßausläufer säumten die proximalen, distalen und intertarsalen Ränder der Gelenkflächen. Die Gefäße traten jedoch vorrangig an den intertarsalen Gelenkflächen in der Umgebung der Ligamenta intertarsea auf. Auf die proximalen und distalen Bereiche konnten sie sich jeweils nur ein sehr kurzes Stück erstrecken, da in diesem Bereich die Gelenkflächen sehr straff aneinander lagen.

3.3.25. Proximale und distale Gelenkfläche des Os
metatarsale III und IV und Gelenkflächen
der Phalangen

Die Befunde entsprachen im wesentlichen denen an der
Vordergliedmaße.

4. DISKUSSION

Mit der vorliegenden Arbeit sollte der Versuch unternommen werden, über die Darstellung in der Gelenkoberfläche tretender Blutgefäße das Vorhandensein einer vollständigen synovialen Auskleidung der fetalen Gelenkhöhle nachzuweisen. Wäre die Gelenkhöhle der Feten vollständig mit Synovialis ausgekleidet, müßten auch deren Blutgefäße den Gelenkknorpel überziehen, da es sich bei der Synovialis stets um ein stark vaskularisiertes Gewebe handelt. Auf diese Weise könnte bereits makroskopisch ein indirekter Nachweis erfolgen.

Daß im Fetalzeitraum Blutgefäße in der Oberflächenschicht des Gelenkknorpels auftreten, ergaben die Untersuchungen dieser Arbeit. Alle untersuchten Gelenkflächen wurden an den Rändern von feinen Gefäßausläufern umsäumt. Diese Gefäße stammten aus der Synovialis und liefen, von der Übergangsstelle der Synovialis in den Gelenkknorpel aus, noch ein Stück weiter auf die Gelenkflächen. Dort überzogen sie die Gelenkbereiche, die noch keine direkte Berührung mit der gegenüberliegenden Gelenkfläche hatten. Bei den beiden untersuchten zwei und vier Wochen alten Kälbern war dieser Gefäßsaum kaum noch ausgebildet, bei dem neugeborenen Kalb war er jedoch noch deutlich zu erkennen. Offensichtlich wurden diese Gefäße durch den nach der Geburt einsetzenden Belastungsdruck und die Gelenkbewegungen zurückgedrängt.

Bereits 1783 beschrieb HUNTER einen derartigen Gefäßkranz. Auch nach seiner Schilderung erstreckten sich die Gefäße während der Embryonalentwicklung noch weiter auf die Gelenkoberflächen. Als *Circulus vasculosus articuli Hunteri* erwähnten in der nachfolgenden Zeit noch weitere Autoren diese Gefäße (TOYNBEE, 1841; REYHER, 1874; KAJAVA, 1919; KEY, 1932; FISCHER, 1939; RUCKES u. REISSLAND, 1960; BARNETT, 1961; HAM u. CORMACK, 1979), ohne sich weitergehend mit ihnen zu befassen.

Bei den von mir untersuchten Rinderfeten traten außerdem noch regelmäßig größere Gefäßnetze auf mehreren Gelenkflächen auf. Bei allen Tieren konnten größere Blutgefäße in folgenden Gelenkoberflächen beobachtet werden:

- Gelenkoberfläche der Incisura trochlearis ulnae,
- distale Gelenkoberfläche des Radius (Trochlea radii),
- Gelenkoberfläche der Trochlea tali,
- plantare Gelenkoberfläche des Caput tali,
- proximale Gelenkoberfläche des Os centroquartale.

Ebenfalls häufig, aber nicht regelmäßig bei allen Tieren, traten noch folgende größere Gefäßnetze auf:

- Auf der Gelenkoberfläche des Klauenbeins und des Klauen sesambeins und

- auf der distalen Gelenkoberfläche der Tibia (Cochlea tibiae).

Die Gefäßnetze beschränkten sich immer auf bestimmte Gelenkflächenbereiche. Die Gelenkoberflächen vollkommen überziehende Gefäßnetze konnten nicht beobachtet werden. Bestätigt wurde aber die Existenz der von LOEFFLER und HOMANN (1968, unveröffentlicht) im Bereich des Klauengelenks beobachteten Gefäße. Die Autoren fanden auf dem Klauensesambein, ausgehend von dem proximalen, faserknorpeligen und von Synovialis bedeckten Teil, Gefäße, die auf die Gelenkoberfläche übertraten. Bei den von mir untersuchten Tieren traten auf diese Gelenkfläche sowohl von proximal als auch von distal Gefäße über. Die proximal auf die Gelenkoberfläche übertretenden Gefäße bildeten häufig ein nach distal ausgezogenes keilförmiges Gefäßnetz. In einem Fall (Fetus 91 cm SSL) bestand sogar eine Gefäßverbindung zwischen den proximalen und den distalen Gefäßen

(Abb. 7). Die distalen Gefäße bildeten immer nur einen feinen Gefäßsaum am Gelenkrand.

Ein von der Kante, die die Gelenkfläche des Klauenbeins in die Facies articularis und die Facies articularis sesamoidea trennt, ausgehendes Gefäßnetz dehnte sich bei den meisten Tieren bis zu einem Drittel auf die Klauenbeingelenkfläche aus. Es wurde ebenfalls bereits von LOEFFLER und HOMANN (1968, unveröffentlicht) beschrieben.

Nach ihrer Auffassung erhielten diese Gefäßnetze ihren Zufluß aus größeren Gefäßen im Spalt zwischen Klauenbein und Klauensesambein. Nach den Ergebnissen dieser Arbeit entsprangen die Gefäßnetze aus einem entlang der Kante zwischen der Facies articularis und der Facies articularis sesamoidea der Klauenbeingelenkfläche quer über das Klauenbein verlaufenden größeren Gefäß ("Transversalgefäß").

In der Mitte des interdigitalen und des äußeren Gelenkrandes fanden LOEFFLER und HOMANN (1968, unveröffentlicht) zwei weitere Kapillarnetze, von denen das interdigitale Netz weiter auf die Gelenkfläche übergriff als das äußere. Dies stimmt mit den Befunden dieser Arbeit insofern überein, als bei 88 % der untersuchten Klauen axial (interdigital) und bei 82 % der untersuchten Klauen abaxial ein Gefäßnetz vorhanden war (Tab. 2). Deutlich entwickelt war davon das axiale Gefäßnetz an 44 % der Klauen, das abaxiale Netz aber nur an 32 % der Klauen (an den rechten Hinterextremitäten lautet das Verhältnis 42 % zu 32 %). Bei den als schwach ausgebildet eingestuftten Gefäßnetzen waren aber die Gefäße der abaxialen Seite mit 50 %, gegenüber 44 % an der axialen Seite, stärker vertreten (bzw. an den rechten Hinterextremitäten 50 % gegenüber 46 %).

Ein vom Klauenbein zum Kronbein durch den Klauengelenkspalt ziehendes Gefäß, wie es von LOEFFLER und HOMANN

(1968, unveröffentlicht) beobachtet wurde, konnte nur in zwei Fällen, und davon auch nur bei einem Fetus an allen vier Extremitäten gleichzeitig auftretend, beobachtet werden. Es entsprang aus dem über die Klauenbeingelenkfläche verlaufenden Transversalgefäß. LOEFFLER und HOMANN (1968) nannten es auch " Winkelgefäß ", da es aus den Gefäßen im Winkel zwischen Klauenbein und Klauensesambein entsprang.

Auch eine von LOEFFLER (1987) bei einem mißgebildeten Rinderfetus und von WALLA (1983) noch in Resten bei einem neugeborenen Kalb beobachtete Gefäßverbindung zwischen der distalen Gelenkfläche der Tibia und der Trochlea tali konnte bei 26 der 50 untersuchten Tiere beobachtet werden. Es stellte die Verbindung zwischen den Gefäßnetzen auf der Cochlea tibiae und der Trochlea tali her. Ein Gefäß, das der von STREHLER (1978) beim Schwein im Karpalgelenk zwischen Os carpi intermedium und Os carpale III und Os carpale IV beobachteten Gefäßverbindung entspräche, trat bei den untersuchten Rinderfeten und Kälbern nicht auf.

Auffällig war vor allem die Tatsache, daß an den Lokalisationen der Gelenkknorpeloberfläche, an denen Gefäßnetze auftraten, sich in der Regel Synovialgruben oder Synovialausschnitte entwickelten. Vergleicht man in der Literatur die Angaben über den Zeitpunkt des Auftretens

der Synovialgruben beim Rind von BÜRKI (1905) und WALLA (1983), so zeigt sich, daß sie bei Neugeborenen bereits voll oder teilweise entwickelte Synovialgruben beschrieben. Auch HLOUSEK (1972) erwähnte, ohne Angabe der Gelenkflächen, das Vorhandensein von Synovialgruben bei neugeborenen Kälbern. ELLENBERGER (1908) legt das Alter des Auftretens allerdings erst auf zwei Jahre fest

Die Entwicklung der Synovialgruben und Synovialausschnitte begann bei den von mir untersuchten Tieren auf der Incisura trochlearis der Ulna und auf der proximalen Gelenkoberfläche des Os tarsi centroquartale schon sehr früh, so daß zum Geburtszeitpunkt an diesen Lokalisationen bereits weitgehend fertig entwickelte Synovialgruben bzw. Synovialausschnitte vorhanden waren. Der Knorpel war in dem Gebiet unter den Gefäßnetzen weitgehend verschwunden, und die entstandene Knorpelmulde wurde von einem dichten und blutgefäßreichen Gewebe ausgefüllt. Dieser Befund zeigte sich auch bei den von WALLA (1983) untersuchten neugeborenen Kälbern.

Die bei dem neugeborenen und den jungen Kälbern anzutreffende tiefe, fast höhlenartigen Form der Synovialgrube im Bereich der proximalen Gelenkfläche des Os centroquartale (WALLA, 1983), die sich auch bei den von mir untersuchten Kälbern zeigte, könnte sich durch die Entwicklung dieses Knochens aus zwei Anlagen erklären. Im Fetalalter bestand noch eine schmale, bindegewebige Tren-

nung des Os centroquartale in die Ossa tarsi centrale und quartale. Die Synovialgrube dürfte sich aus zwei gegenüberliegenden Synovialausschnitten dieser beiden phylogenetisch noch getrennt angelegten Knochenanlagen entwickelt haben. Darauf weisen auch die Untersuchungsbefunde dieser Arbeit hin, da an dieser Stelle bereits bei den kleinsten untersuchten Feten aus der Syndesmose zwischen den Knochenanlagen Gefäße an die Oberfläche traten.

Die Entwicklung der Synovialgruben im Bereich der Gefäßnetze auf der Cochlea tibiae, der Trochlea radii und des Caput tali setzte dagegen erst später, bei den größeren Feten, ein. Zum Geburtszeitraum waren an diesen Stellen dann bereits deutliche Aussparungen im Gelenkknorpel zu erkennen, jedoch war die Vaskularisation aus den Epiphysen noch nicht erfolgt. Auch WALLA (1983) sah auf der Gelenkoberfläche der Trochlea tali, der Cochlea tibiae und der Trochlea radii bereits bei neugeborenen Kälbern Knorpelinsenkungen, Knorpelrauhigkeiten und das Einsprossen von Blutgefäßen aus dem Epiphysenkernen als die typischen Anzeichen sich entwickelnder Synovialgruben.

Der sich plantar auf dem Caput tali entwickelnde Synovialausschnitt wurde bisher weder von BÜRKI (1905) noch von WALLA (1983), die beide ausführlich das Vorkommen der Synovialgruben beim Rind untersuchen, noch von

anderen Autoren (LUY, 1935; MODES, 1939; HLOUSEK, 1972; PANCANI, 1973), die sich mit den Synovialgruben des Rindes befaßten, beschrieben.

Anders waren die Verhältnisse im Bereich der Klauengelenkfläche. Dort entwickelten sich Synovialgruben erst einige Zeit nach der Geburt. BÜRKI (1905) fand hier an der der Gliedmaßenachse zugekehrten Seite immer eine Synovialgrube. WALLA (1983) beobachtete regelmäßig einen vom interdigitalen Gelenkrand ausgehenden Synovialausschnitt. Auf dem Gelenkknorpel des Klauengelenks waren bei keinem der von mir untersuchten Tieren Anzeichen für den Beginn einer Synovialgrubenentwicklung zu erkennen. Auffälligerweise traten auf der axialen Seite der Klauengelenkfläche, auf der sich später auch die Synovialgruben entwickelten, die Gefäßnetze etwas häufiger auf (Tab. 2).

Für die Synovialgrubenentwicklung auf der Gelenkfläche der Cochlea tibiae bestand ebenfalls keine eindeutige Beziehung zwischen dem Auftreten eines Gefäßnetzes und der Synovialgrubenentwicklung, da nicht alle untersuchten Tieren dieses Gefäßnetz aufwiesen. Trotzdem gab es bei den gleichaltrigen Tieren keine Unterschiede, weder im Entwicklungszustand, noch im Entwicklungsbeginn der Synovialgruben. Ganz besonders deutlich zeigte sich die Unabhängigkeit der Entwicklung dieser Synovialgruben von der Ausbildung des Gefäßnetzes bei den drei Tieren, die

nur auf der Cochlea tibiae einer Hinterextremität ein Gefäßnetz ausgebildet hatten. Da bei diesen Tieren in der Ausbildung der Synovialgruben auf beiden Seiten keinerlei Unterschiede festzustellen waren, kann für diese Lokalisation mit einiger Sicherheit ein Einfluß der Gefäßnetze auf die Synovialgrubenentwicklung ausgeschlossen werden.

Da die Gefäßnetze weitgehend an den Orten auftraten, an denen sich später auch Synovialgruben oder Synovialausschnitte entwickelten, liegt der Schluß nahe, daß zwischen der Entwicklung der Synovialgruben und der Ausbildung der Gefäßnetze ein Zusammenhang besteht. Die Gefäßnetze stellten an diesen Lokalisationen gewissermaßen die Vorläufer der Synovialgruben dar. Erst nach der Geburt wurden sie durch die jetzt einsetzende Gelenkbewegung zerstört, oder sie wurden, wie vor allem auf der Gelenkfläche der Trochlea tali ersichtlich, in die Gefäßversorgung des Gewebes am Grubengrund einbezogen.

Es stellt sich nun die Frage nach der Funktion dieser Gefäßnetze. Die Aufgabe der Blutgefäße könnte entsprechend dem Ort ihres Auftretens den Aufgaben der Synovialgruben ähnlich sein.

MODES (1939), LOEFFLER (1975) und DAMMICH (1976) sprachen den Synovialgruben bedeutende Funktionen bei der Ernährung des Gelenkknorpels zu. Sie dienen vor allem dazu, die Diffusionstrecke zwischen zentralen Gelenk-

knorpelbereichen und der Synovialis zu reduzieren und dadurch eine wesentlich bessere Versorgung dieser meist stark druckbelasteten Gelenkanteile zu gewährleisten.

Demnach könnten die Aufgaben der Blutgefäßnetze durchaus in der Unterstützung der Ernährung des rasch wachsenden Gelenkknorpels liegen. Während der Gelenkentwicklung und des anschließenden raschen Gelenkwachstums ist ein erhöhter Nährstoffbedarf anzunehmen. Vor allem an der Gelenkknorpeloberfläche ist die Versorgung der Zellen erschwert, da zum einen die den Synovialfluß fördernde Gelenkbewegung noch weitgehend fehlt, zum anderen aber auch die Gefäße der Knorpelkanäle nicht bis in die oberflächliche Schicht reichen (HAINES, 1933; GRAY u. GARDENER, 1950; MASHUGA, 1961; NORMANN u. VAN SICKLE, 1971).

Dieser Theorie widerspricht auch nicht die Tatsache, daß nicht bei allen Tieren in der distalen Gelenkoberfläche der Tibia ein Gefäßnetz auftrat, obwohl sich an dieser Stelle immer eine Synovialgrube entwickelte. In diesem Bereich scheint das Gefäßnetz aber für die Ernährung des Gelenkknorpels nicht zwingend nötig zu sein, steht doch in derselben Gelenkhöhle bereits ein großes Gefäßnetz auf der Trochlea tali zur zusätzlichen Synoviaproduktion zur Verfügung.

Erst nach der Geburt gingen die Gefäße zugrunde. Dies zeigte sehr eindrucklich das bei der Geburt gestorbene Kalb, bei dem noch alle Gefäßnetze vorhanden waren.

Nach der Geburt kann die Ernährung des Gelenkknorpels über den durch die Bewegung verbesserten Synovialfluß sichergestellt werden. Auf den Gelenkbereichen, für die diese Versorgung nicht ausreicht, sind zum Geburtszeitraum bereits Synovialgruben oder Synovialausschnitte angelegt. Unter ähnlichen Aspekten sind auch die Gefäße des *Circulus vasculosus articuli Hunteri* zu betrachten, die der Ernährung der Randpartien des Gelenkknorpels dienen.

Unsicherheit besteht auch noch in der Frage des Entstehungsortes der Synovialgruben. SCHULZ (1915) sah die Synovialgrubenbildung an den Orten geringster Belastung. Ebenso war es nach MODES (1939) und DOIGE und HOROWITZ (1975) vor allem der mangelnde und fehlende Druck, der die germinative Zone veranlaßte, die Knorpelbildung einzustellen.

BÜRKI (1905) und DAMMRICH et al. (1976) äußerten hingegen die Ansicht, daß die Synovialgruben durch die zunehmende Druckbelastung der Gelenkflächen während des Wachstums entstehen. An den Orten des höchsten Druckes wird die Ernährung des Knorpels gestört, dadurch wird der Wachstumstillstand ausgelöst.

Die Befunde dieser Arbeit sprechen hingegen für die Annahme, daß die Synovialgruben an den Orten geringeren Druckes entstehen, denn nur an diesen Stellen konnten sich die Gefäßnetze entwickeln, unter denen sich später die Synovialgruben bildeten.

Auch die sichere Einstufung der Synovialgruben als normale anatomische Bildungen ist anhand der Befunde dieser Arbeit möglich. Diese Auffassung hatte sich in letzter Zeit auch allgemein durchgesetzt. Lediglich noch BÖSEMANN und VIEHWEGER (1974) deuteten die Synovialgrubenentwicklung als eine pathologische Erscheinung infolge überhöhter Gelenkbelastung durch hohes Körpergewicht und bewegungsarme Haltungsformen. In Anbetracht der Tatsache, daß bereits bei den kleinsten untersuchten Feten (20 cm SSL) Anzeichen einer Synovialgruben- bzw. Synovialausschnittsentwicklung, beginnend auf der Gelenkfläche des Os centroquartale und der Incisura trochlearis der Ulna, anzutreffen waren, läßt pathologische Entstehungsursachen mit Sicherheit ausschließen, da in einem so frühen Entwicklungsstadium die Tiere sicherlich noch keinerlei schädigenden Einflüssen ausgesetzt waren.

Eine im Fetalalter vorhandene vollständige Auskleidung der Gelenkhöhle mit Synovialis, wie sie im letzten Jahrhundert und auch noch Anfang dieses Jahrhunderts diskutiert wurde, schließt das Vorhandensein der für die

Funktionen der Synovialis (Sekretion und Resorption) unabdingbaren Gefäße auf der Gelenkknorpeloberfläche ein.

Die im Rahmen dieser Arbeit erfolgte morphologische Untersuchung der Blutgefäße der Knorpeloberfläche ergab keine Hinweise für eine im Fetalalter noch bestehende völlige Auskleidung der Gelenkhöhle mit Synovialis. Die gefundenen Gefäße waren zu stark auf bestimmte Gelenkareale beschränkt, die zudem noch weitgehend mit den Lokalisationen später sich entwickelnder Synovialgruben übereinstimmten. Auch Hinweise für eine eventuelle Bedeutung dieser Gefäßnetze im Zusammenhang mit der Entwicklung der Lamina splendens bzw. der Chondrosynovialmembran waren nicht zu erkennen.

Dies bedeutet auch, daß die Herkunft der Synovialisdeckzellen vom Typ A, die im Gewebe der Synovialgruben bereits vor der Vaskularisierung aus dem Knochenkern nachzuweisen waren (BIEDIER u. LOEFFLER, 1984), aus diesen Gefäßnetzen nur für die Synovialgruben zu diskutieren ist, die zuvor von einem Gefäßnetz bedeckt waren. Da sich viele Synovialgruben erst nach der Geburt entwickelten, ist für diese die Herkunft der Synovialisdeckzellen weiterhin noch unklar. Für diese Gruben wird die, wie in Versuchen mit experimentell ausgelöster Arthritis bereits nachgewiesen (HABERBOSCH et al. 1983), mögliche Auswanderung der makrophagenähnlichen Syno-

vialisdeckzellen vom Typ A aus der Synovialis der Gelenkkapsel oder die Umwandlung aus den noch Fibrozyten ähnlichen Zellen der Gelenkoberflächenschicht (LOEFFLER u. BIDIER, 1984) diskutiert. Nur für die im Fetalalter bereits angelegten Gruben wäre es möglich, daß die Synovialisdeckzellen zusammen mit den Gefäßen vom Gelenkrand aus in die Synovialgruben eingewandert waren. Der genaue Nachweis dieser Hypothese kann durch die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen jedoch noch nicht erbracht werden. Eine endgültige Klärung muß einer späteren histologische Untersuchung vorbehalten bleiben.

Eine abschließende Klärung der Entstehungsursachen und der genauen Funktion der Blutgefäße auf der Knorpeloberfläche ist nicht möglich. Darüber konnten lediglich einige Vermutungen geäußert werden. Einige bisher im Schrifttum noch nicht zu findende Beobachtungen hinsichtlich des Zeitpunktes des Beginns der Synovialgrubenentwicklung bei Rinderfeten konnten beschrieben werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Extremitätengelenkflächen von 47 Rinderfeten (20-93 cm SSL) und drei Kälbern (neugeboren, zwei und vier Wochen alt) wurden auf das Auftreten von Blutgefäßen auf der Knorpeloberfläche untersucht. Die Darstellung der Gefäße erfolgte durch Injektion von verdünnter Tusche in die Nabelgefäße bzw. in die A./V. femoralis / axillaris.

Regelmäßig traten bei allen Feten Blutgefäßnetze auf folgenden Gelenkflächen auf:

- Gelenkfläche der Incisura trochlearis ulnae,
- distale Gelenkfläche des Radius (Trochlea radii),
- Gelenkfläche der Trochlea tali,
- plantare Gelenkfläche des Caput tali,
- proximale Gelenkfläche des Os centroquartale.

Ebenfalls häufig, aber nicht bei allen Feten, traten auf folgenden Gelenkflächen Blutgefäße auf:

- Auf der Gelenkfläche des Klauenbeins und
- auf der distalen Gelenkfläche der Tibia
(Cochlea tibiae).

Nach der Geburt gingen die Gefäße zugrunde. Bei einem neugeborenen Kalb waren sie noch vorhanden, bei den älteren Kälbern waren sie nicht mehr nachzuweisen.

Im Bereich der Gelenkknorpeloberflächen, die regelmäßig bei allen Tieren von Gefäßnetzen überzogen wurden, begann bereits im Fetalalter die Entwicklung von Synovialgruben bzw. Synovialausschnitten. Auf der Gelenkfläche der Incisura trochlearis ulnae und der proximalen Gelenkflächen des Os centroquartale waren die Synovialgruben bzw. Synovialausschnitte bereits zum Geburtszeitpunkt vollständig entwickelt.

Aus diesem frühen Zeitpunkt des Beginns der Synovialgrubenentwicklung konnte geschlossen werden, daß Synovialgruben bzw. Synovialausschnitte normale anatomische Bildungen sind, da die Gelenkoberflächen bei Feten noch keinerlei schädigenden Einflüssen ausgesetzt sein konnten.

Über die Funktion der gefundenen Gefäßnetze wurde, aufgrund der häufigen Übereinstimmung des Ortes ihres Auftretens mit den Orten, an denen sich Synovialgruben bzw. Synovialausschnitte entwickelten, die Vermutung geäußert, daß sie, gewissermaßen als Vorläufer der Synovialgruben, eine wichtige Aufgabe bei der Ernährung des wachsenden Gelenkknorpels besitzen.

SUMMARY

On the occurrence of blood-vessels in articular cartilage surface by fetal cattles

The articular cartilage of 47 fetal cattles and 3 calves (newborn, 2 and 3 weeks old) was examined to find out if there were existing any blood-vessels in the joint surface. These vessels have been demonstrated by injektion of diluted Indian ink into the umbilican blood-vessels or into the A./V. femoralis/axillaris.

As a result there could be generally found systems of blood-vessels in articular cartilage surfaces of all fetal cattles within the following lokalisations:

- in joint surface of Incisura trochlearis ulnae,
- in distal joint surface of the Trochlea radii,
- in joint surface of Trochlea tali,
- in plantar joint surface of Caput tali,
- in proximal joint surface or the Os centro-quartale.

Often but not in all the fetal cattles blood-vessels have been found in the following joint surfaces:

- in joint surface of the Os ungulare,
- in joint surface of Cochlea tibiae.

These vessels disappeared after birth: they were still visible in the newborn, whereas no vessels could be found in older aged calves.

In the area of the cartilage surface, which are regular tected by systems of blood-vessels in all animals, the development of Synovial grooves (Fossae nudatae) and Synovial notches has begun soon during fetal age. At time of birth, Synovial grooves and Synovial notches completely and perfectly have been developped in cartilage surface of the Incisura trochlearis ulnae and in the one of the Os centroquartale.

So, from this early beginning of development of Synovial grooves and Synovial notches we can derive, that these Synovial grooves and Synovial notches are regular anatomy facts, because the cartilage surface of fetal cattles cannot be subject to any hurting influences.

Concerning the fact, that the system of the blood-vessels frequently were found on the same localisations, where Synovial grooves and Synovial notches develop, it can be assumed, that they have an important function for feeding the growing articular cartilage, as a sort of conception of Synovial grooves.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- ANDERSEN, H. (1964):
Development, morphology and histochemistry of the
early synovial tissue in human fetuses.
Acta anat. 58, 90-115
- BAIER, W., u. F. SCHAETZ (1981):
Tierärztliche Geburtshilfe.
5. Auflage.
Enke Verlag, Stuttgart
- BALAZS, E.A., G.D. BLOOM u. D.A. TWANN (1966):
Fine structure and glycosaminoglycan content of
the surface layer of articular cartilage.
Fed. Proc. 25, 1813-1815
- BARLAND, P., A.B. NOVIKOFF u. D. HAMERMAN (1962):
Electron microscopy of the human synovial
membrane.
J. Cell. Biol. 14, 207-220
- BARNETT, C.H., K.V. DAVIES u. M.A. MC CONNAILL (1961):
Synovial Joints. Their Structure and Mechanics
Springfield, Illinois, USA
- BARNETT, C.H., W. COCHRANE u. A.J. PALFREY (1963):
Age changes in articular cartilage of rabbits.
Ann. rheum. Dis. 22, 389-399
- BENNINGHOFF, A. (1925)
Form und Bau der Gelenkknorpel in ihren
Beziehungen zur Funktion,
II. Teil: Der Aufbau des Gelenkknorpels in seinen
Beziehungen zur Funktion.
Zschr. Zellforsch. mikrosk. Anat. 2, 783-862
- BICHAT, - (1806):
Anatomie generale, Bd. IV
zit. nach HAGEN-TORN (1882)
- BIDIER, I., u. K. LOEFFLER (1984):
Zur Frage der Umdifferenzierung von Synovialis zu
Faserknorpel am Beispiel der Cartilago supra-
patellaris des Kaninchens.
Zbl. Vet. Med. C. Ant. Histol. Embryol. 13, 231-
242

- BIERTHER, M.F.W., K.W. WEGNER u. H. FACKELDEY (1972):
The fine structure of normal synovium in the dog
as compared with the synovium after trans-
plantation of a total knee joint.
Z. Rheumaforsch. 31, 262-272
- BÖSEMANN, W., u. E. VIEHWEGGER (1974)
Vergleichende Untersuchungen an den distalen
Gliedermaßenabschnitten von Merinofleischschafen
verschiedenen Alters unter konventionellen Auf-
stallungsbedingungen sowie nach zwölfmonatiger
Haltung auf Vollspaltenböden.
Kollektiv-Diss., Leipzig
- BREHM, H. (1987):
Die Synovialgruben bei der Ziege.
unveröffentlicht
- BREHM, H., u. K. LOEFFLER (1985):
Morphology and development of synovial pits.
Fortschritte der Zoologie, Band 30,
Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York.
- BREHM, H., K. LOEFFLER und W. FRICK (1982):
Synovialgruben beim Hund.
Kongressbuch, 28. Jahrestagung der DVG Fachgruppe
Kleintierkrankheiten, Frankfurt
- BRENTANO, G. (1978):
Untersuchungen über Resorptionsvorgänge bei
Gelenkblutungen im Femoropatellargelenk des
Kaninchens. Struktur und Funktion des Stratum
synoviale.
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 91, 327-331
- BRENTANO, G., K. DAMMRICH, u. J. UNSHELM (1979):
Untersuchungen über Gelenk- und Klauenverände-
rungen bei auf Lattenrosten und auf Stroheinstreu
gehaltenen Mastkälbern.
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 92, 229-233
- BROWER, T.D., u. WAN-YI HSU (1969):
Normal Articular Cartilage.
Clin. Orthopaedics 64, 9-17
- BÜRKI, E. (1905):
Die Synovialgruben des Rindes.
Archiv f. wissenschaft. u. prakt. Tierheilk.
31, 241-299

- BULLOUGH, P., u. J. GOODFELLOW (1968):
The significance of the fine structure of
articular cartilage.
J. Bone Joint Surg. 50, 852-857
- CALANDRUCCIO, R.A.W., u. Sc. GILMER (1962):
Proliferation, regeneration and repair of
articular cartilage of immature animals.
J. Bone Joint Surgery 44A, 431-455
- CLARKE, I.C. (1974):
Articular cartilage: a review and scanning
electron microscope study. The territorial
fibrillar architecture.
J. Anat. 118, 261-280
- CHORS, P., u. G. MESSOW (1969)
Gelenke.
In: JOEST, E., Handbuch der speziellen
pathologischen Anatomie der Haustiere,
Band I, Verlag Paul Parey, Berlin u. Hamburg
- DÄMMRICH, K. (1976):
Adaptationskrankheiten des Bewegungsapparates bei
12, 15 und 18 Monaten alten Mastbullen.
Pathologische Histologie und formale Pathogenese
der Arthropathia deformans.
Zbl. Vet. Med. A. 23, 617-634
- DÄMMRICH, K., W. BRASS u. H. SCHEBITZ (1975)
Gelenke.
In: SCHEBITZ, H., u. W. BRASS: Allgemeine
Chirurgie für Tierärzte und Studierende.
Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- DÄMMRICH, K., S. SEIBEL, F.W. HUTH u. U. ANDREAE (1976):
Adaptationskrankheiten des Bewegungsapparates bei
12, 15 und 18 Monaten alten und unterschiedlich
gefütterten Mastbullen.
Morphologie, Lokalisation und Vorkommen der
Arthropathia deformans.
Berl. Münch. tierärztl. Wschr. 80, 84-88
- DAVIES, V. (1950):
Structure and function of synovial membrane.
Brit. Med. J. 1, 92-95
- DAVIES, V., C.H. BARNETT, W. COCHRANE u. J. PALFREY (1962):
Electron microscopy of articular cartilage in the
young adult rabbit.
Ann. rheum. Dis. 21, 11-22

- DOIGE, C., u. A. HOROWITZ (1975):
A study of articular surface and synovial fossae
of the pectoral limb of swine.
J. Comp. Med. 39, 7-16
- DREHER, R. (1982 a):
Origin of synovial type A cells during
inflammation. An experimental approach.
Immunobiol. 161, 232-245
- DREHER, R. (1982 b):
Das aktive Monozyten-Makrophagen-System als ein
gemeinsames Prinzip der perpetuierenden Gelenk-
destruktionen bei rheumatoider Arthritis und
Arthrosis (Arthritis) deformans.
Akt. Rheumatologie Z, 44-51
- EDUARDS, J.C.W., u. A. WILLOUGHBY (1982):
Demonstration of bone marrow derived cells in
synovial lining by means of giant intracellular
granules as genetic markers.
Ann. rheum. Dis. 14, 177-182
- ELLENBERGER, W. (1908):
Das Skelettsystem. Der passive Bewegungsapparat.
In: ELLENBERGER, W., u. H. BAUM, Handbuch der
vergleichenden Anatomie der Haustiere.
12. Aufl. Springer-Verlag Berlin,
Heidelberg, New York
- EKHOLM, R. (1951):
Articular cartilage nutrition.
Acta anatomica 15, 5-71
- FISCHER, T. (1939):
The structure and function of synovial membrane
and articular cartilage.
Brit. med. J., 390-393
- FRICK, W. (1983):
Makroskopische und mikroskopische Untersuchungen
der Synovialgruben beim Hund.
Diplomarbeit, Hohenheim
- GARDENER, D.L., u. D. WOODWARD (1968):
Scanning electron microscopy and replica studies
of articular surfaces of guinea-pig synovial
joints.
Ann. rheum. Dis. 28, 379-391
- GHADIALLY, F.N. (1983):
Fine structure of synovial joints.
Butterworth, London, Boston, Durban, Singapore,
Sydney, Toronto, Wellington

- GRAY, D.J., u. E. GARDENER (1950):
Prenatal development of the human knee and superior tibiofibular joints.
Am. J. Anat. 86, 235-287
- HABERBOSCH, B., K. LOEFFLER u. H. BREHM (1983):
Experimentelle Untersuchungen zur Herkunft der Synovialisdeckzellen am Beispiel der Synovialgruben.
Dtsch. tierärztl. Wschr. 90, 471-477
- HAGEN-TORN, O. (1882):
Entwicklung und Bau der Synovialmembran.
Arch. f. mikr. Anat. 21, 591-663
- HAINES, R.W. (1933):
Cartilage canals.
J. Anat. 68, 45-64
- HAINES, R.W. (1947):
The development of joints.
J. Anat. 81, 33-65
- HAINES, R.W. (1976):
Destruction of hyaline cartilage in the sigmoid notch of the human ulna
J. Anat. 122, 331-334
- HLOUSEK, A. (1972):
A stereoscan electron microscopic study of synovial fossae in the tarsal joints of cattle.
Acta Veterinaria Brno, 41, 363-366
- HAM, A.W., u. D.H. CORMACK (1979):
Histophysiology of cartilage, bone and joints.
J.B. Lippincott Company, Philadelphia und Toronto
- HAMERMAN, D. (1970):
Synovial joints: Aspects of structure and function.
Aus: E.A. BALAZS, Chemistry and molecularbiology of the intercellular matrix Vol.3.
London, New York
- HAMERMAN, D., u. P. BARLAND (1966):
Structure and function of the synovial membrane.
Bull. Rheum. Dis. 16, 396-399
- HIROHATA, K. (1974):
Electron microscopic observation of synovial tissue in health and disease.
In: OTAKA, Y (1974): Biochemistry and pathology of connective tissue. Thieme Verlag, Stuttgart

- HIROHATA, K., u. J. KOBAYASHI (1964)
Electron microscope studies on normal and
pathologic joint tissues.
1. Normal joint tissues 2.
J. Jap. Orthop. Ass. 37, 291-301
- HIROHATA, K., K. MIZUHARA, S. IMURA, J. KOBAYASHI,
A. FUJIWARA u. T. SATO (1963):
Electron microscope studies on joint tissues
under normal and pathologic conditions. 1. Normal
joint tissues.
J. Jap. Orthop. Ass. 36, 871-883
- HORKY, D. (1984):
Ultrastructure of the bovine synovial membrane in
ontogenesis.
Acta Veterinaria Brno 53, 107-117
- HUNTER, W. (1743):
Of the structure and diseases of the articulating
cartilages.
Phil. Trans. Roy. Soc. 42, 514 - 521
- KAJAVA, Y. (1919):
Beitrag zur Kenntnis der Entwicklung des Gelenk-
knorpels.
Acta Societatis Scientiarum Fenn. 218, 1-127
- KEY, J.A. (1932):
The synovial membrane of joints and bursae.
Special Cytology. Hoeber, New York
Ed. by E. Vincent Cowdry, 1055-1085
- KNESE, K.H. (1980):
Die Knorpelgefäße und der Knochenkern. Der meta-
morphosierende Knorpel.
Gegenbauers Morphol. Jahrbuch 126, 86-101
- KNESE, K.H., u. A.M. KNOOP (1961):
über den Ort der Bildung des Mukopolysaccharid-
Protein-Komplexes im Knorpelgewebe.
Zschr. Zellforsch. 53, 201-258
- LANGER, E., u. F. HUTH (1960):
Untersuchungen über den submikroskopischen Bau
der Synovialmembran.
Z. Zellforsch. mikrosk. Anat. 51, 547-599.
- LANGER, I. (1978):
Elektronenmikroskopische und morphometrische
Untersuchungen an den Synovialdeckzellen des
Schweines bei experimenteller chronischer Rot-
laufpolyarthrititis.
Vet. med. Diss., Hannover

- LINCK, G., u. A. PORTE (1977):
B-Cells of the synovial membrane.
I. A comparative ultrastructural study in some mammals.
Cell. Tissue Res. 187, 257-261
- LOEFFLER, K. (1975):
Zur Struktur der Gelenkknorpeloberfläche.
Vortrag südwestdeutsche Anatomen in Tübingen
8.- 9.11.75
- LOEFFLER, K. (1987):
Mündliche Mitteilung.
- LOEFFLER, K., u. I. BIDIER (1984):
Zur Frage der Umdifferenzierung der Knorpelzellen der Gelenkoberfläche am Beispiel der Synovialgrubenbildung.
Zbl. Vet. Med. C. Anat. Histol. Embryol. 13, 68-85
- LOEFFLER K., I. BIDIER u. H. BREHM (1982):
Morphologie und Entwicklung von Synovialgruben.
14. Kong. Euro. Vereinig. Vet. Anat.
30.8.-9.3., Berlin
- LOEFFLER, K., u. W. BRANSCHIED (1976):
Synovialausschnitte im Ellbogengelenk des Hundes.
Kleintier-Praxis 21, 86-89
- LOEFFLER, K., u. M. HOMANN (1968):
Zur Entwicklung des Klauengelenks und der Fußrolle beim Rind: Aufbau des Gelenkknorpels und der Schleimbeutelaukleidung.
Unveröffentlicht.
- LUBOSCH, W. (1910):
Bau und Entstehung der Wirbelkörpergelenke.
Verlag Fischer, Jena
- LUCHMANN, H. (1938):
Besonderheiten der Gelenkflächen am Fuß von Ziege und Schaf (mit perforierenden und anderen Synovialgruben).
Gegenbauers Morph. Jahrb. 81, 416-488
- LUY, P. (1935):
Beitrag zur Kenntnis der Synovia und zur Funktion der Synovialgruben des Rindes.
Tierärztl. Rundschau. 41, 173-177

- MAHDI, A.A. (1979):
Ultrastrukturelle Pathologie und Histopathologie
der Synovialmembran in der akuten Phase der experi-
mentellen Erysipelothrix-Polyarthrititis des
Schweines.
Vet. med. Diss., Hannover
- MASHUGA, P.M. (1961):
Funktionelle Strukturen des Blutgefäßsystems und
ihre Bedeutung in der Entwicklung des Knochen und
Knorpelgewebes.
Z. Anat. Entw. Gesch. 122, 539-555
- MC CONAILL, M.A. (1951):
The movements of bones and joints.
J. Bone Jt. Surg. 33 B, 251-257
- MC KIBBIN, B. (1973):
The nutrition of articular cartilage and its
relationship to development.
Aus: Ali, S.Y., ELVES, M.W. u. LEABACK, D.H.
(1973): normal and osteoarthrotic articular
cartilage.
Institute of Orthopaedics, London
- MEHLFELD, R., K. LOEFFLER u. H. BREHM (1984):
Der Einfluß der Bewegung auf die Bildung von
Synovialgruben.
Dtsch. tierärztl. Wschr. 91, 360-364
- MICHELETTO, B., u. J. PANCANI (1973):
Histological behaviour of tarsal synovial grooves
in experimental joint pathology in cattle and
horses.
Ann. Fac. Med. Vet. Torino 20, 3-6
- MODES, E. (1939):
Zum Vorkommen echter Synovialgruben (Fossae
nudatae) bei Mensch, Wiederkäuer und Pferd.
Virchow's Arch. path. Anat. 32, 603-610
- NICKEL, R., A. SCHUMMER u. E. SEIFERLE (Hrsgb.) (1984)
Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.
Band I, 5. Aufl.,
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg
- OTTE, P. (1965):
Die Bedeutung der Wachstumsrichtung des Gelenk-
knorpels für die Pathogenese der traumatische
Arthrosis deformans.
Hefte Unfallklinik 81, 104-106

- OTTE, P. (1966)
über des Wachstum der Gelenkknorpel.
Hüthig Verlag, Heidelberg
- PANCANI, I. (1973):
Rilievi morfologici ed istologici sulle fossette
sinoviali articolari del complesso tarsico di
bovini clinicamente normali.
(Morphological and histological observations on
synovial grooves of the tarsal joint in
clinically normal cattle).
Folia Verinaria Latina, 3, 254-269
- PALMGREN, A. (1928):
Zur Kenntnis der sogenannten Schnappgelenke.
I. Die Ursache des Federungsphänomens nebst
einigen Bemerkungen über die Fossae nudatae des
Ellbogengelenks des Pferdes.
Zschr. Anat. 88, 710-745
- PUHL, W. (1972):
Die Mikromorphologie der Gelenkoberfläche.
Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an
normalen und pathologisch veränderten Gelenk-
flächen.
Habilitationsschrift, Heidelberg
- PUSCHMANN, H. (1978):
Die Bildung des Gelenkspaltes, dargestellt am
Ellbogengelenk von Mäuseembryonen.
Zbl. Vet. Med. C. Anat. Histol. Embryol. 7,
336-348
- REYHER, - (1874):
On the cartilages and synovial membranes of the
joints.
J. Anat. Physiol. 8,
zitiert nach LUBOSCH (1910)
- ROY, S., u. F.N. GHADIALLY (1967):
Ultrastructure of normal rat synovial membrane.
Ann. rheum. Dis. 26, 26-38
- RUCKES, I., u. G. REISSLAND (1960):
Untersuchungen über den Gewebsstoffwechsel von
Stratum synoviale und Gelenkknorpel des Knie-
gelenks beim Kinninchen.
Zeitschrift für Rheumaforschung 19, 135-138
- RÜTTNER, J.R., M.A. SPYCHER u. K. FEHR (1977):
Morphologie des Gelenkknorpels bei der Fab-
induzierten Kniegelenksarthrititis des Kaninchens.
Win. Klin. Wschr. 89, 730-732

- SCHMIDT, V., u. U. ANDREAE (1973):
Über den Einfluß von haltungsbedingten Klauenver-
änderungen auf die Kron- und Fesselgelenke bei
Mastbullen.
Berl. Münch. tierärztl. Wschr. 87, 1-5
- SCHULZ, W. (1915):
Untersuchungen über die sogenannten Synovial-
gruben, Fossae nudatae, beim Pferd.
Arch. wiss. prakt. Tierheilk. 41, 245-271
- SILBERBERG, R., M. SILBERBERG u. D. FEIR (1964):
Life cycles of the articular cartilage cells, an
electron microscopic study of the hip joint of
the mouse.
Am. J. Anat. 114, 17-47
- SOKOLOFF, L. (1978):
The joints and synovial fluid.
Academic Press, London
- STAHLECKER-MAIER, A. (1985):
Vorkommen und Entwicklung der Synovialgruben beim
Pferd
Vet. med. Diss., Zürich
- STEIN, H., I.A. BAB u. J. SELA (1981):
The occurrence of hydroxyapatite crystals in
extracellular matrix vesicles after surgical
manipulation of the rabbit knee joint.
Cell Tissue Res. 214, 449-454
- STOFFT, E., u. W. EFFENDY (1985):
Development and morphology of rat synovial
membrane.
Acta anat. 121, 36-40
- STREHLER, M. (1978):
Vorkommen und Entwicklung der Synovialgruben an
den Gliedmassen beim Hausschwein (DL).
Vet. med. Diss., München
- TILLMANN, - (1877):
Beiträge zur Histologie der Gelenke.
Arch. f. mikr. Anat. 10, 401-440
- TOYNBEE, J. (1841):
On the organisation and nutrition of non vascular
animal tissues.
zitiert nach KAJAVA (1919).

TRUCCHI, G. (1973):

Fossette sinoviali carpiche e tarsiche di
"Rupicarpa Rupicarpa" e "Carpa Ibex". Aspetti
morfologici e rilievi istologici.
(Die Synovialgruben des Carpal- und Tarsal-
gelenkes von Gemse und Steinbock. Morphologische
Aspekte und histologische Untersuchungen).
Fol. vet. lat. 3, 240-253

VAUBEL, E. (1933):

über das Synovialgewebe.
Virchows Archiv f. path. Anat. Physiol. 289,
670-687

WALLA, L. (1983):

Vorkommen und Entwicklung der Synovialgruben an
den Gliedmaßen beim Rind.
Vet. med. Diss., Gießen

WASSILEV, W. (1972):

Elektronenmikroskopische und histochemische
Untersuchungen zur Entwicklung des Kniegelenkes
der Ratte.
Z. Anat. Entwickl. Gesch. 137, 221-238

WILSMAN, N., u. D. VAN SICKLE (1971):

Cartilage canals, their morphology and
distribution.
Anat. Rec. 173, 79-94

WEISS, C. (1973):

Ultrastructural characteristics of osteoarthritis.
Federation Proceedings 32, 1459-1466

WEISS, C., L. ROSENBERG u. A.J. HELFET (1968):

Ultrastructural study of normal young adult human
articular cartilage.
J. Bone Joint Surg. 50, 663-674

WILTBERGER, H., u. G. LUST (1975):

Ultrastructure of canine articular cartilage:
comparison of normal and degenerative (osteo-
arthritic) hip joints.
Am. J. Vet. Res. 36, 727-740

WOLF, J. (1969):

Chondrosynovial membrane serving as joint cavity
lining with a sliding and barrier function.
Fol. morphol. 17, 291-308

WOLF, J. (1974):

Transition from synovial into chondral membrane.
Fol. morphol. 22, 151-160

- WOLF, J. (1975):
Junction of chondral membrane on surface of
articular cartilage from point of view of its
mechanical resistance.
Fol. morphol. 23, 77-87
- WRIGHT, V., D. DOWSON u. J. KERR (1973):
The structure of joints.
Intern. Rev. Connective Tissue Res. 6,
105-125
- WYSOCKI, G.P., u. K.M. BRINKHOUSE (1972):
Scanning electron microscopy of synovial
membranes.
Arch. Path. 93, 172-177

DANKSAGUNG

Herrn Professor Dr. med. vet. K. Loeffler danke ich ganz herzlich für die freundliche Überlassung des Themas, für seine wissenschaftliche Anleitung und die jederzeit gewährte Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr. med. vet. B. Vollmerhaus danke ich ebenfalls ganz herzlich für die Übernahme dieser Arbeit und die Vorlage zur Promotion.

Desweiteren gilt mein besonderer Dank der tierärztlichen Leitung des Vieh- und Schlachthofes Stuttgart, für die Materialbeschaffung, Frau Dr. med. vet. Schulz, die mich dabei nach besten Kräften unterstützte, sowie auch Frau Dr. med. vet. Frenzel von der Firma Vit Organ für die Überlassung der Extremitäten von einigen der Rinderfeten, die für die Herstellung von Zellextrakten am Stuttgarter Schlachthof gesammelt wurden.

Auch Frau Dr. med. vet. H. Brehm danke ich für die Vermittlung der Kälber aus der Versuchsstation I der Universität Hohenheim.

LEBENS LAUF

Name: Martin Koltzmann

Geburtsdatum: 14.2.1959

Geburtsort: Bayrischzell

Wohnort: 7447 Aichtal-Rudolfshöhe

Eltern: Dr. med. Hans-Georg Koltzmann
Heidi Weigel, geb. Ringhardt

Schulbildung: 1965-1969 Grundschule Oberlingen
1969-1970 Gymnasium Oberlingen
1970-1978 Kegel-Gymnasium Stuttgart

Bundeswehr: Juli 1978 - September 1979

Lehre: Oktober 1979 - Oktober 1980

Studium: Ludwig-Maximilians-Universität
München
WS 80 - SS 81 Physik
WS 81 - WS 86/87 Tiermedizin

Staatsexamen: 26. November 1986

Approbation: 12. Januar 1987

Weitere Tätigkeit: Seit Januar 1987 Doktorand am
Institut für Tiermedizin und Tierhygiene
mit Tierklinik der Universität Hohenheim,
Lehrstuhl für Anatomie und Physiologie der
Haustiere.



